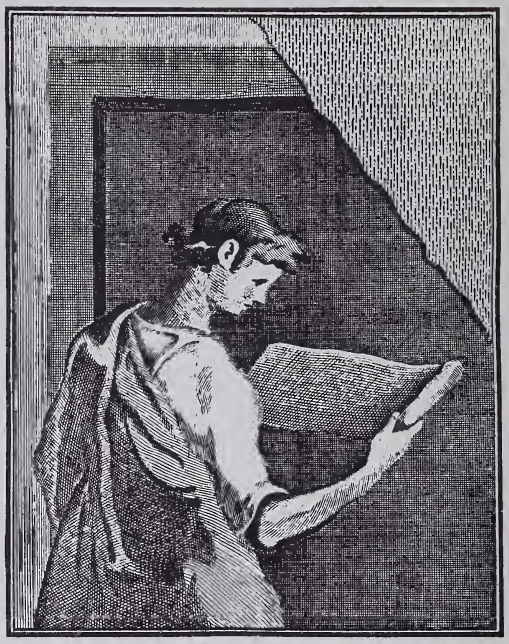


THE GETTY CENTER LIBRARY

F 180

C. F. Chandler

Die

Dreifarbenphotographie

mit besonderer Berücksichtigung

des

Dreifarbendruckes und der photographischen Pigmentbilder in natürlichen Farben.

Von

Arthur Freiherrn von Hübl,
k. u. k. Oberst, Vorstand der technischen Gruppe im k. u. k. militär-geographischen Institute in Wien.

Zweite, umgearbeitete Auflage.

Mit 33 in den Text gedruckten Abbildungen und 4 Tafeln.

CONS.
NH
820
H87
1902

Halle a. S.
Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.
1902.

CAMERA CLUB LIBRARY
Catalogued & Indexed 1930 by
Hal D. Bernstein, Librarian

THE GETTY CENTER
LIBRARY

Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Heft behandelt die indirekte Farbenphotographie, jenes Verfahren, welchem die Idee zu Grunde liegt, photographische Bilder in natürlichen Farben durch Vereinigung von drei monochromen Kopieen zu erzielen.

Versuche in dieser Richtung wurden schon vor etwa 30 Jahren ausgeführt, aber erst die in den letzten Jahren gemachten Fortschritte auf photographischem Gebiete haben die thatsächliche Durchführbarkeit dieser Ideen ermöglicht.

Eine eingehende Bearbeitung hat die Theorie der indirekten Farbenphotographie bisher nicht erfahren, daher auch allgemein gültige Grundsätze für die praktische Ausübung derselben fehlen. Man trachtete zwar auf Grund der Young-Helmholtzschen Farbenhypothese, eine Theorie der indirekten Photochromie zu entwickeln und suchte Relationen zwischen der Farbe der drei monochromen Bilder und den bei ihrer Herstellung angewendeten photographischen Prozessen auf, doch sind die so gewonnenen Gesetze von nur beschränkter Gültigkeit, unvollkommen und ohne gegenseitigen Zusammenhang.

Der Verfasser war bestrebt, auf Grund der vier Heringschen Grundfarben und des Farbenmischungs-Gesetzes eine allgemeine, sowohl für die polychrome

Projektionsmethode als auch für den Dreifarbendruck geltende und in die Praxis übertragbare Theorie zu entwickeln.

Die so gewonnene theoretische Basis wurde dann für den Dreifarbendruck specialisiert und die Ausübung dieses Verfahrens ausführlich beschrieben. Dem Dreifarbendruck nahe verwandt sind die aus Transparentfolien zusammengesetzten Dreifarbenphotographieen, daher auch ihre Herstellungsweise besprochen wurde. Den Bedürfnissen des Praktikers wurde thunlichst Rechnung getragen; die Formeln für die Sensibilisierung der Platten und die zugehörigen Filter sind in gedrängter Kürze nebeneinander gestellt, und die beigegebenen Probetafeln mit ihren Teilbildern bilden für den ausübenden Photographen einen sicheren Wegweiser bei der Herstellung und Beurteilung seiner Negative.

Wien 1897.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Bei der Bearbeitung der zweiten Auflage wurde der gesamte Inhalt einer eingehenden Überprüfung unterzogen, nicht ganz korrekt scheinende Anschauungen berichtigt und alle neueren Arbeiten auf dem Gebiete der Dreifarbenphotographie berücksichtigt.

Ein besonderes Augenmerk ist dem praktischen Teile, namentlich der photographischen Farbenzerlegung, zugewendet worden. Die diesem Zwecke dienenden Strahlenfilter müssen bekanntlich den Eigenschaften der photographischen Platte angepasst werden, und da die zahlreichen, in der Praxis verwendeten Plattensorten von verschiedener und oft auch wechselnder Beschaffenheit sind, so ist die Angabe von Filter-Rezepten stets nur von zweifelhaftem Werte. Die dem Buche in mehreren Exemplaren beigegebene farbige Probetafel soll diese Schwierigkeit beseitigen und die selbständige Ermittlung der jeweilig erforderlichen Filter in einfacher Weise ermöglichen.

Der Verfasser liess sich dabei von der Überzeugung leiten, dass ein einfacher und leicht ausführbarer Vorgang der Praxis bessere Dienste leistet, als ein kompliziertes, allerdings allen Forderungen der Theorie Rechnung tragendes Verfahren, und diese Anschauung war auch bei der Aufstellung aller sonstigen Vorschriften massgebend — stets wurde thunlichste Vereinfachung und das Auslangen mit den jederzeit zur Verfügung stehenden Mitteln angestrebt.

Wien 1902.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort III

Einleitung Die Wiedergabe der natürlichen Farben auf photographischem Wege . . . . . 1—8

I. Abschnitt.

Licht und Farbe.

A. Die Vibrationstheorie des Lichtes . . . . . 9—14

B. Farbiges Licht. Einfaches Licht, das Prismen- und Gitterspektrum, Farbenton, Helligkeit und Sättigung 14—34

Gemischtes Licht. Komplementärfarben, Addition farbiger Lichter . . . . . 23—28

Die Theorie der Farbenwahrnehmung. a) Theorie Young-Helmholtz; b) Theorie von Hering 28—34

C. Körperfarben und Farbstoffe. Das spektrale Verhalten der Farbstoffe, breit- und schmalbandige Pigmente, die mittlere Absorption der Farbstoffe . . . . . 34—63

Das Verhalten von Farbstoffen bei ihrer Mischung, Substanz und Strahlenmischung, verschiedenes Verhalten schmal- und breitbandiger Pigmente, Mischung von Rastertönen, der Überdeckungsfehler, Entstehung von Grau und Schwarz, Benennung der Farben . . . . . 49—63

D. Die geometrische Darstellung der Farbstoffmischungen. Begriff der Mischlinie und Mischfläche, Konstruktion der Farbentafel, der Farbenkreis . . . . . 63—81

Die spektrale Mischlinie . . . . . 74—75

Abweichungen vom Gesetze der Pigmentmischung . . . . . 75—81

II. Abschnitt.

Theorie und Praxis des Dreifarbendruckes.

A. Die theoretische Grundlage des Dreifarbendruckes 82—108

a) Die Wahl der Farben. Das theoretisch richtige Grundfarbensystem, das System lichtechter Grundfarben, die Grundfarben für das Photochromoskop 82—89

Seite

b) Der photographische Prozess. Zusammenhang von Plattensensibilisierung und Druckfarben, die Sensibilisierungskurven für beide Grundfarbensysteme . . . . . 89—102

c) Theorie von Ives . . . . . 102—105

d) Sensibilisierungstheorie von Dr. H. W. Vogel . . . . . 105—106

e) Zusammenhang zwischen Druckfarbe und Lichtfilter . . . . . 106—108

B. Plattensensibilisierung und Lichtfilter . . . . . 109—138

a) Die Sensibilisierung photographischer Platten für farbige Lichtstrahlen. Absorption und Sensibilisierung, die Schirmwirkung, Sensibilisierung für blaugrüne, grüne, gelbe und rote Strahlen, gemischte Sensibilisatoren, Sensibilisierungskurven für das Normalspektrum . 109—125

b) Die Strahlenfilter. Flüssigkeits- und Trockenfilter, Charakteristik der wichtigsten Filterfarbstoffe, Herstellung von Gelatine-Trockenfiltern 125—138

C. Die Praxis des Dreifarbendruckes . . . . . 138—193

a) Die Herstellung der photographischen Negative. Die Apparate, der photographische Prozess, Kollodium- und Gelatineplatten, die Benutzung der Probetafel und Grauskala, Vorschriften für die Sensibilisierung der Platten und Herstellung der Filter . . . . . 141—163

b) Die Herstellung und Vereinigung der Teilbilder . . . . . 163—193

1. Transparente Dreifarbenbilder. Die Herstellung und Färbung von Gelatinebildern auf Celluloïd und Glimmer . . . . . 163—174

2. Der Dreifarbendruck. Auswahl der Druckfarben, Ausführung des Zusammendruckes, der Cliché-, Flach- und Lichtdruck, die Farbenfolge . . 175—193

Schlusswort . . . . . 194—195

Einleitung.

Jede bildliche Darstellung strebt naturgemäss eine so weitreichende Ähnlichkeit mit dem abzubildenden Objekte an, dass sie den unmittelbaren Naturanblick zu ersetzen geeignet scheint.

Nur selten vermag die Konturzeichnung bereits eine hinreichende Vorstellung von der Beschaffenheit des Objektes zu geben, wir benutzen die Abschattierung, um den Eindruck der Körperlichkeit hervorzurufen, und die Farbe, um Leben und Wahrheit der Darstellung zu verleihen.

Zum Verständnis der Schönheit einer Konturenprojektion und selbst eines monochrom abschattierten Bildes ist eine gewisse künstlerische Veranlagung oder ein durch lange Schulung geübtes Auge erforderlich, während den Reiz harmonischer Farbenwirkung auch der Laie mit Befriedigung empfindet. Das grosse Publikum lässt sich daher stets durch die Farbe bestechen, es zieht, wie die tägliche Erfahrung lehrt, den schlechten Farbendruck der besten Photogravure vor, und oft müssen Holzschnitte oder Kupferstiche, um Beifall zu finden, mit Farben belegt werden.

Die Farbe verstärkt die Illusion fast ebenso, wie die Plastik, und ihren belebenden Einfluss vermag besonders der Photograph zu beurteilen, denn täglich hat er Gelegenheit, das farbenprächtige Bild auf der Visierscheibe mit seinem monochromen Abklatsch zu vergleichen.

CAMERA CLUB LIBRARY
Catalogued & Indexed 1930 by
Hal D. Bernstein, Librarian

Gewiss ist mit dem ersten photographischen Bilde auch der Wunsch nach Photographieen in Naturfarben entstanden, und die Farben des Kamerabildes festzuhalten, ist seit dieser Zeit ein Problem, an dessen Lösung rastlos gearbeitet wird.

Die bisherigen Versuche, dieses Ziel zu erreichen, lassen sich in zwei Gruppen teilen: Man trachtet entweder, lichtempfindliche Schichten herzustellen, die beim Auftreffen der Lichtstrahlen die Färbung derselben annehmen, oder man sucht durch Übereinanderlegen mehrerer in gewöhnlicher Weise hergestellter gefärbter photographischer Bilder das gewünschte Resultat zu erzielen. Die erste Methode kann man als direktes, die zweite als indirektes Verfahren zur Herstellung von Photochromieen bezeichnen.

Die ältesten Versuche über direkte Farbenphotographie stammen von Becquerel, Seebeck, Poitevin u. a., ihnen liegt die Eigentümlichkeit des Silbersubchlorides zu Grunde, unter dem Einfluss farbigen Lichtes eine diesem ähnliche Färbung anzunehmen.

Zenker suchte 1868 das Zustandekommen dieser Farben durch stehende Lichtwellen zu erklären, aber erst Lippmann konstatierte die Richtigkeit dieser Theorie, und indem er bei seinen 1891 veröffentlichten Versuchen absichtlich die Entstehung solcher Lichtwellen hervorrief, brachte er die Lösung des Problems einen bedeutenden Schritt näher.

Der Enthusiasmus, welcher nach Bekanntwerden der Lippmannschen Versuche sich der ganzen gebildeten Welt bemächtigte, legte sich aber bald, da man sah, dass das Verfahren, teils wegen Unvollkommenheit der Resultate, teils wegen Schwierigkeiten bei seiner Ausführung, vorläufig noch jedes praktischen Wertes entbehrt.

E. Valenta, Lumière, Krone, besonders aber Neuhauss haben sich um die Ausbildung dieser Methode

Verdienste erworben, praktisch brauchbare Resultate konnten aber bisher nicht erzielt werden.

In neuerer Zeit hat Wiener[1]) die in das Gebiet der direkten Farbenphotographie schlagenden Fragen in theoretischer Beziehung eingehend studiert, und seine diesbezüglichen Arbeiten sind von grundlegender Bedeutung für den weiteren Ausbau dieser Methoden.

Nach Wiener verdanken die direkten Photochromieen ihre Färbung entweder Interferenzfarben oder wirklichen Körperfarben. Erstere entstehen durch stehende Lichtwellen bei den Becquerelschen chlorürten Silberplatten, dann bei der Lippmannschen, auf einem Quecksilberspiegel ruhenden Bromsilberschicht, während bei den mit Silberchlorür überzogenen Papieren, wie sie von Seebeck und Poitevin benutzt wurden, Körperfarben gebildet werden.

Die Entstehung der Körperfarben erklärt Wiener durch die Anpassungstheorie:

Eine lichtempfindliche Substanz kann nur durch jene Farbenstrahlen verändert werden, die sie absorbiert; auf einen roten Körper werden daher im allgemeinen rote Lichtstrahlen ohne Einfluss sein, und ebenso sind gelbe oder grüne Strahlen wirkungslos auf einen gelben oder grünen Körper. Besitzt daher eine lichtempfindliche Substanz die Fähigkeit, bei der Einwirkung des Lichtes verschiedene Färbungen anzunehmen, so wird sie sich unter dem Einfluss des roten, gelben oder blauen Lichtes so lange verändern, bis sie rot, gelb oder blau geworden ist, und diese Färbung bleibt dann auch bei weiterer Belichtung erhalten.

Da dem Silbersubchlorid — dem sogen. Photochlorid — diese Eigentümlichkeit zukommt, so ist das

---

1) Annalen der Physik und Chemie 1895; Photographische Mitteilungen 1896.

Entstehen farbiger photographischer Bilder auf mit dieser Substanz präparierten Papieren erklärlich.

Auch Papiere, welche mit einer Mischung lichtunechter roter, gelber und blauer Teerfarbstoffe überzogen werden, geben bei der Belichtung unter einem transparenten farbigen Bilde entsprechend gefärbte Kopieen.

Mit der Wienerschen Anpassungstheorie ist ein neuer präzis vorgeschriebener Weg zur Erzielung von Photochromieen gegeben, und wenn auch die bisherigen Versuche noch keine praktisch brauchbaren Resultate geliefert haben, so ist es doch möglich, dass sie zur endlichen Lösung des Problems der Farbenphotographie führt.

Die Grundidee zur zweiten Methode der Photochromie ist gleichfalls über 30 Jahre alt; sie trachtet, wie schon erwähnt, die Naturfarben des Originales durch Übereinanderlegen mehrerer einfarbiger photographischer Bilder zu imitieren.

Bei dieser indirekten Methode benutzt man die üblichen Positiv- und Negativ-Verfahren und verwendet für die Färbung der Bilder die gewöhnlichen Pigmente. Die Zahl der zu kombinierenden Farbenbilder, die man als „Teilbilder" bezeichnen kann, wird in der Regel auf drei beschränkt, weil man von der Ansicht ausgeht, dass sich durch Kombination eines gelben, roten und blauen Farbstoffes alle Farbenempfindungen wiedergeben lassen.

Die Teilbilder werden auf photographischem Wege erhalten, indem man drei Aufnahmen mit Platten von verschiedener Farbenempfindlichkeit ausführt: Auf eine dieser Platten ist der gelbe Farbenanteil des Originales ohne Wirkung, sie liefert daher das Negativ für das gelbe Teilbild; auf die zweite und dritte Platte muss der rote, resp. blaue Anteil des Bildes wirkungslos bleiben, und die Negative werden für die Herstellung des roten,

resp. blauen Teilbildes benutzt. Vereint man die drei Bilder, so soll ein Gesamtbild vom Aussehen des Originales entstehen.

Dieses Prinzip der indirekten Photochromie oder der photographischen Dreifarbenbilder lässt sich praktisch in verschiedener Weise ausführen: Man stellt entweder die drei Teilbilder mit Hilfe des Pigmentprozesses auf Glas oder einem anderen durchsichtigen Materiale her und vereint sie durch Übereinanderlegen zu einem transparenten Gesamtbilde, oder man druckt die drei Bilder auf Papier mit fetter Farbe auf der Presse übereinander, vereint sie also zu einem Farbendruck.

Bei den ersten Versuchen über zusammengesetzte Heliochromie wurde der Pigmentprozess benutzt, da man damals den photomechanischen Pressendruck noch nicht kannte und der Pigmentdruck die einzige Methode war, um photographische Halbtonbilder in beliebigen Farben zu erzeugen. In neuerer Zeit wurde das Verfahren vielfach modifiziert, und dass man auf diesem Wege tadellose Resultate zu erzielen vermag, beweisen die allgemein bekannten farbenprächtigen Projektionspositive und Stereoskopbilder von Lumière.

Die zweite Methode, der „photographische Dreifarbendruck“, dessen erste Anfänge bis zum Jahre 1865 zurückreichen, wurde besonders von Dr. H. W. Vogel und Dr. E. Albert ausgebildet und in die Praxis eingeführt. Er findet gegenwärtig vielfach Verwendung und gewinnt, besonders infolge der Verbesserungen, welche der Halbton-Clichédruck erfährt, täglich an Ausdehnung.

Die Photographie ist bei der Ausführung des Dreifarbendruckes nicht wesentlich erforderlich, und theoretisch ist es ganz gleichgültig, ob die für den Druck des gelben, roten und blauen Bildes erforderlichen Platten durch Handzeichnung, oder mit Hilfe der Photographie her-

gestellt werden. In der Praxis stellen sich aber der ersteren Ausführungsart ganz unüberwindliche Hindernisse entgegen. Auch der erfahrene Chromolithograph ist nicht im stande, den Mischungseffekt von drei so differenten Farben im vorhinein zu beurteilen und daher auch nicht in der Lage, ein nur halbwegs brauchbares Resultat zu erzielen. Ein Dreifarbendruck mit gezeichneten Platten ist also theoretisch zwar möglich, praktisch aber nicht ausführbar.

Statt die aus Körperfarben bestehenden Positive übereinander zu legen, kann man die Teilbilder auch auf optischem Wege zu einem Mischbilde vereinen, und dieser Gedanke liegt den polychromen Projektionsbildern, dann dem Photochromoskop zu Grunde. Schon Ducos du Hauron sprach die Möglichkeit aus, farbige Projektionsbilder in dieser Weise herzustellen, aber erst Leon Vidal, Ives und Scott ist es gelungen, das Verfahren praktisch brauchbar zu machen.

Die drei Negative wurden auf gewöhnlichen Chlor- oder Bromsilberplatten kopiert, die so erhaltenen Positive mit einem entsprechend gelben, resp. roten und blauen Glase bedeckt und gleichzeitig auf eine weisse Wand übereinander projiziert. Man benutzt dazu entweder drei Projektionsapparate oder eine Triplexlaterne mit drei Projektionsobjektiven. Sind die Farben der Gläser richtig gewählt, so vereinigen sich die auf dem Schirm übereinander fallenden Lichter zu Weiss. Schaltet man die drei Positive ein, so liefert jedes ein farbiges Teilbild, daher am Schirm ein Projektionsbild in den Farben des Originales erscheint.

Im Photochromoskop von Ives werden die drei Positive gleichfalls durch farbige Gläser beleuchtet, aber nicht auf einen weissen Schirm projiziert, sondern durch ein Spiegelsystem direkt in das Auge des Beschauers reflektiert.

Die farbigen Beleuchtungsgläser bleiben hier ebenso wie bei der polychromen Projektion für alle Bilder unverändert, und durch diesen Umstand wird die richtige Wiedergabe der Farben wesentlich erleichtert. Während nämlich bei der früher angegebenen Methode der Dreifarbenphotographie die Färbung der Teilbilder in jedem einzelnen Falle gegeneinander abgestimmt werden muss, sind beim Photochromoskop und bei der Projektionsmethode die Färbungen der Beleuchtungsgläser nur einmal in Übereinstimmung zu bringen und entsprechen dann den Diapositiven eines beliebigen Bildes.

Nur dieser Umstand verleiht dem Photochromoskop eine gewisse Überlegenheit gegenüber dem aus transparenten Teilbildern bestehenden Dreifarbenbild. Das beiden Methoden zu Grunde liegende Prinzip ist das gleiche, mit beiden Methoden können gleich gute Resultate erzielt werden.

Das Photochromoskop liefert aber kein materielles Bild und besitzt aus diesem Grunde nur geringen praktischen Wert.

Eine originelle Idee hat Joly in Dublin verfolgt, um farbige Photographieen auf indirektem Wege zu erzielen. Er benutzt eine Glasplatte mit durchsichtigen, unmittelbar aneinander schliessenden, sehr dünnen Linien (etwa zehn pro Millimeter). Diese sind abwechselnd von roter, grüner und blauer Färbung, und die Farben sind so gewählt, dass die Platte, in der Durchsicht betrachtet, hellgrau erscheint.

Presst man diese Platte gegen eine für alle farbigen Strahlen gleichmässig empfindliche Trockenplatte und exponiert ein farbiges Objekt, so werden die vom Original reflektierten roten Strahlen nur von den roten Linien durchgelassen und die unter diesen liegenden Stellen der photographischen Platte werden bei der Entwicklung geschwärzt. In analoger Weise werden die

grünen Stellen des Originales nur unter den grünen Linien, die blauen Stellen nur unter den blauen Linien abgebildet werden, während die weissen Strahlen durch alle Linien wirken. Stellt man nach diesem Negativ ein Glaspositiv her und presst es auf dieselbe oder eine ähnliche farbige Rasterplatte, so wird bei ganz richtiger Lage beider Platten das Bild des Objektes in nahezu natürlichen Farben erscheinen.

Dieser Vorgang ist schwierig ausführbar, kann die Farben nur unrein wiedergeben und dürfte kaum jemals einen praktischen Wert erlangen.

Wie aus dieser Zusammenstellung zu entnehmen ist, haben bisher nur die indirekten Methoden der Photochromie brauchbare Resultate ergeben. Insbesondere ist es der Dreifarbendruck, dem man gegenwärtig eine hervorragende praktische Bedeutung zuerkennen muss.

Die Praxis dieses Verfahrens zerfällt in zwei Teile: In die Zerlegung der Originalfarben und in die Ausführung des Druckes. Das Problem der Farbenspaltung auf photographischem Wege dürfte als gelöst zu betrachten sein, da man durch Verwendung entsprechender Sensibilisatoren und Lichtfilter die Empfindlichkeitsverhältnisse der photographischen Platte nach Belieben zu regeln vermag; dagegen lässt die Wiedervereinigung der drei Teilbilder durch Pressendruck noch vieles zu wünschen übrig. Besonders die Herstellung der photomechanischen Druckformen ist unsicher, wenn es sich um eine peinlich richtige Wiedergabe aller Abschattierungen des Negativs handelt, aber auch dem Pressendruck selbst fehlt jene exakte Gleichmässigkeit, wie sie der Dreifarbendruck unbedingt fordert.

I. Abschnitt.

Licht und Farbe.

A. Die Vibrationstheorie des Lichtes.

Zahlreiche Erscheinungen drängen zu der Annahme, dass jene Erscheinung, die wir als Licht bezeichnen, durch die Bewegung eines, den ganzen Weltraum erfüllenden, unwägbaren, äusserst dünnen, elastischen Stoffes — des Lichtäthers — zu stande kommt.

Befindet sich der Äther in Ruhe, so herrscht Finsternis. Durch einen leuchtenden Körper, dessen kleinste Teilchen sich in äusserst lebhafter Vibration befinden, wird der Äther erschüttert, er kommt in Bewegung, diese pflanzt sich mit grosser Geschwindigkeit nach allen Richtungen fort und verursacht auf der Netzhaut unseres Auges einen Reiz, den wir als Licht empfinden.

Die Vibrationen des leuchtenden Körpers werden in ähnlicher Weise durch den Äther fortgepflanzt, wie jene des schallenden Körpers durch die Luft. Treffen die vibrierenden Luftteilchen unser Ohr, so nehmen wir einen Ton wahr, treffen die bewegten Ätherteilchen unser Auge, so empfinden wir Licht.

Die Lichtbewegung des Äthers ist aber keine in der Richtung der Lichtstrahlen fortschreitende, sondern besteht aus örtlich feststehenden Schwingungen. Die Ätherteilchen oszillieren nämlich senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes pendelartig hin und her, ihre

Bewegung überträgt sich von einem Teilchen auf das andere, wodurch eine wellenartige Bewegung der ganzen Äthermasse zu stande kommt.

Die Körper zeigen gegen die auftreffenden Ätherwellen ein sehr verschiedenes Verhalten: Manche setzen ihrer Bewegung gar kein Hindernis entgegen — sie sind durchsichtig, andere veranlassen ein elastisches Abprallen derselben — sie reflektieren das Licht, und die meisten endlich hemmen mehr oder weniger ihr Fortschreiten, das Licht vermag sie also gar nicht oder nur geschwächt zu durchdringen — sie sind undurchsichtig oder durchscheinend —, sie absorbieren ganz oder teilweise das Licht.

Trifft ein in Bewegung befindlicher Körper auf einen zweiten, so hört die Bewegung des ersteren auf, und es entsteht Wärme, wie es das bekannte Beispiel von Hammer und Amboss lehrt. Besitzt einer der beiden Körper nicht genügende Festigkeit, so wird beim Aufprallen auch eine Deformation, vielleicht ein Zerschellen desselben zu stande kommen. Ähnlich wirken die Stösse des oszillierenden Äthers, also das Licht. Trifft er auf einen Körper, der seine Bewegung hemmt, so kommt er zur Ruhe, und es entsteht Wärme, und vielleicht findet auch eine Deformation der getroffenen Substanz statt. Diese Deformation beschränkt sich aber in der Regel auf den Bau der Moleküle, auf eine Verschiebung der Atome, folglich auf eine chemische Veränderung der Substanz. Solche Körper werden also durch die Wirkung des Lichtes verändert, und man bezeichnet sie als „lichtempfindlich“.

Bei jeder Wellenbewegung unterscheidet man zwei für diese charakteristische Grössen: den Weg, welchen ein bewegtes Teilchen bei einer Schwingung zurücklegt, das ist die Grösse des Ausschlages oder die „Amplitude“ und die für die Ausführung einer Schwingung erforderliche Zeit — die „Schwingungsdauer“. Letztere kann

auch durch die Zahl der Schwingungen pro Sekunde — durch die Schwingungszahl — ersetzt werden. Die gegenseitige Entfernung zweier Wellen bezeichnet man als Wellenlänge und, wie die Theorie lehrt, ist diese umgekehrt proportional zur Schwingungszahl; je grösser also die Zahl der Schwingungen pro Sekunde, desto rascher folgen die Wellen einander, desto kleiner wird die Wellenlänge.

Je weiter man zu einem Schlage mit dem Hammer ausholt, desto bedeutender ist seine Wirkung, und je grösser der Ausschlag der Ätherteilchen, je grösser ihre Amplitude, desto mächtiger der Reiz auf die Netzhaut, um so heller also die Lichtempfindung und kräftiger die chemische Wirkung. Von der Amplitude der Ätherwellen hängt also die Intensität oder Stärke des Lichtes ab.

Der von geringer Höhe fallende Hammer kann zwar ein Bleistück deformieren, wird aber einen Stahlblock nicht beschädigen, wenn auch die Schläge noch so lange Zeit fortwirken. Der mit kleiner Amplitude vibrierende Lichtäther ist vielleicht im stande, das Bromsilber der Gelatineplatte zu verändern, ist aber wirkungslos auf das Jodsilber der nassen Platte, wenn auch seine Stösse ununterbrochen andauern. Damit erklärt sich die bekannte Thatsache, dass bei schlechter Beleuchtung eine wenig empfindliche Platte nicht ausexponiert werden kann.

Von der Schwingungszahl und somit auch von der Wellenlänge hängt beim Schall die Tonhöhe ab, bei der Wellenbewegung des Lichtes bedingt sie die Farbe.

Sinnreiche Experimente haben es ermöglicht, die Schwingungszahlen für verschiedenfarbiges Licht zu bestimmen, und man hat gefunden, dass bei etwa 400 Billionen Stössen pro Sekunde die Empfindung „Rot“ entsteht, mit zunehmender Schwingungszahl dann die Empfindungen „Gelb“, „Grün“, „Blau“ auftreten und der Empfindung „Violett“ etwa 750 Billionen Schwingungen pro Sekunde entsprechen.

Die Wellenlängen sind verkehrt proportional diesen Schwingungszahlen und variieren zwischen 750 und 400 Millionstel Millimeter.

Die wichtigste, uns fast immer zur Verfügung stehende Lichtquelle ist die Sonne, wir bezeichnen ihr Licht als „weiss“ und jede andere quantitativ verschiedene Lichtempfindung als „farbig“.

Lässt man das Sonnenlicht auf ein Glasprisma fallen, so erhält man auf einer passend aufgestellten weissen Wand ein farbiges Lichtbild, das bekannte Spektrum. Im Spektrum sind alle Übergangsfarben von Rot über Gelb, Grün und Blau zu Violett vertreten, daher die Frage nach der Zahl der Spektralfarben eine müssige und die Teilung in sechs oder sieben Farbenzonen eine willkürliche ist. Aus diesem Versuch schliesst man, dass die Empfindung „Weiss“ dann zu stande kommt, wenn Ätherwellen von verschiedenster Schwingungszahl gleichzeitig unser Auge treffen, und dass das weisse Licht aus jenen farbigen Strahlen besteht, die wir eben im prismatischen Bilde erblicken.

Entfernt man aus dem weissen Licht einen farbigen Anteil, so bringt der zurückbleibende, aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzte Rest doch nur eine einheitliche Farbenempfindung hervor. Nimmt man z. B. dem weissen Licht die grünen Strahlen, so vereint sich der zurückbleibende rote, gelbe, blaue und violette Rest zu einer einzigen Empfindung „Rot“. Entfernt man die im weissen Licht vorhandenen gelben oder blauen Strahlen, so resultiert die Gesamtempfindung „Blau“, resp. „Gelb“ u. s. w.

Das auf einen Körper fallende Licht kann, wie oben erwähnt, entweder durchgelassen, reflektiert oder vernichtet, d. h. absorbiert werden, wobei entweder nur eine dieser Erscheinungen auftritt, meist aber alle drei gleichzeitig zu beobachten sind. Dabei kann es vorkommen, dass die Absorption sich nur auf einen farbigen Anteil

des weissen Lichtes erstreckt, dass also nur Ätherwellen von bestimmter Schwingungszahl aufgehalten, vernichten, absorbiert werden, während der Rest ungehindert durchgelassen oder reflektiert wird. Gelangen diese nicht absorbierten Strahlen in unser Auge, so vereinen sie sich zu einer farbigen Empfindung, der betreffende Körper erscheint dann nicht mehr weiss, sondern farbig. Hält z. B. eine Glasplatte die grünen Strahlen zurück, so wird der sie ungehindert passierende Rest die Empfindung „Rot" hervorrufen. Das Glas erscheint rot gefärbt, und wir erhalten den Eindruck, als wenn das weisse Licht bei dem Durchdringen des Glases rot gefärbt worden wäre, thatsächlich erscheint es aber rot, weil es die grünen Strahlen verloren hat. Ebenso erscheint ein mit Eosin überzogenes Papier rot, weil in dem von seiner Oberfläche reflektierten Lichte diese Strahlengattung fehlt.

Wenn Lichtstrahlen absorbiert werden, also Ätherbewegung vernichtet wird, muss Wärme entstehen, und eventuell kann auch eine chemische Veränderung der absorbierenden Substanz eintreten. Ein Körper, der also die grünen Strahlen absorbiert, alle anderen aber durchlässt oder reflektiert, kann, falls er überhaupt lichtempfindlich ist, lediglich durch grünes Licht chemisch verändert werden; jede andere Gattung farbiger Strahlen ist wirkungslos, sie verlässt ja unverändert die Substanz. Setzt man Eosinpapier längere Zeit dem Lichte aus, so wird es gebleicht, der Bau der Eosinmoleküle wird durch die fortgesetzten Ätherstösse zerstört, es ist also lichtempfindlich. Diese chemische Veränderung kann lediglich durch den grünen Anteil des weissen Lichtes zu Stande kommen, und wir bezeichnen somit das Eosin als „grünempfindlich". Bedekt man das Eosinpapier mit einer grünen, roten und blauen Glasplatte und setzt es dem Sonnenlichte aus, so bleicht es thatsächlich nur unter der ersten aus, behält aber unter den beiden anderen seine Farbe.

Cyanin ist orangeempfindlich, es bleicht nur unter dem Einflusse von orangegelben Strahlen, weil es diese absorbiert; Chlor-, Jod- und Bromsilber sind blauempfindlich, denn sie halten die blauen Strahlen zurück und erscheinen, bei genügender Verteilung in dünner Schicht betrachtet, orange in der Durchsicht.

Ein für alle Strahlengattungen gleich empfindlicher, also „weissempfindlicher" Körper müsste schwarz sein; bei den photographischen Präparaten ist jedoch die Wirkung des weissen Lichtes stets nur einem bestimmten Farbenanteil desselben zuzuschreiben.

Aus der Vibrationstheorie des Liches ergaben sich daher nachstehende, für die Photographie äussert wichtige Sätze:

1. Eine Substanz kann nur durch jene Lichtstrahlen chemisch verändert werden, die sie absorbiert.
2. Nicht jeder farbige Körper muss durch die absorbierten Strahlen derartig verändert werden, denn diese können auch Wärme bilden, ohne eine chemische Deformation zu veranlassen.
3. Jede lichtempfindliche Substanz braucht zu ihrer Zersetzung eine bestimmte Lichtintensität; Licht von geringerer Intensität ist ohne Wirkung.

B. Farbiges Licht.

Wir unterscheiden einfaches oder homogenes und gemischtes Licht, je nachdem nur Wellen von einer Länge oder ein Gemisch verschieden langer Wellen vorhanden ist. In gleichem Sinne spricht man von einfachen Farben und Mischfarben. Weisses Licht ist also stets gemischt, und auch das von den meisten Lichtquellen ausgesendete, sowie das von farbigen Körpern reflektierte Licht ist in der Regel ein Lichtgemisch. Einfaches Licht erhalten wir bei der Zerlegung des weissen Lichtes durch ein Prisma, und wenn es sich um die Verwendung einfacher

Farben handelt, müssen in der Regel Spektralfarben benutzt werden.

Aus der Empfindung, welche ein Licht hervorbringt, können wir auch nicht annähernd auf seine Zusammensetzung schliessen, und aus diesem Grunde ist das Prisma, welches eine Zerlegung des gemischten Lichtes in seine Komponenten, eine Analyse desselben ermöglicht, für die Erkenntnis der Farbenerscheinungen von grösster Wichtigkeit. Weisses Licht liefert nach dem Passieren eines Glasprismas ein geschlossenes Farbenband, ein vollkommenes Spektrum, während bei der Zerlegung farbigen Lichtes Teile dieses Bandes fehlen.

Das Spektrum des Sonnenlichtes ist zwar auch von zahlreichen feinen Linien durchsetzt, woraus wir schliessen müssen, dass auch in diesem Lichte Strahlen von gewisser Wellenlänge fehlen. Das Vorhandensein solcher zarter Linien ist aber von kaum wahrnehmbarem Einfluss auf die Farbe des Lichtes.

Diese Fraunhoferschen Linien, von welchen die kräftigsten mit bestimmten Buchstaben bezeichnet wurden, bilden ein ausserordentlich sicheres und bequemes Mittel, um bestimmte Farbenzonen des Spektrums in einfacher Weise zu bezeichnen. Man charakterisiert eine Spektralfarbe und damit auch Licht von einer bestimmten Wellenlänge gewöhnlich durch ihre Lage zu den nächsten Linien.

Aus Fig. 1 ist die Lage der wichtigsten Linien im Verhältnisse zu den Farben des Spektrums ersichtlich.

Die bezifferten Teilstriche bezeichnen die den Farbtönen entsprechenden Wellenlängen in Milliontel Millimeter. Diese Grösse wird Angströmsche Einheit genannt und durch das Zeichen μ bezeichnet.

Am roten Ende des Spektrums sind die, 20 solchen Einheiten entsprechenden Intervalle klein, und werden gegen Violett zu immer grösser, woraus wir schliessen

müssen, dass die roten Strahlen im Spektrum auf eine kleine Fläche zusammengedrängt, die blauen und violetten dagegen auseinander gezogen und gleichsam verdünnt sind. Es ist jedoch bemerkenswert, dass die relative Ausdehnung der Farben und somit auch die Form der Wellenlängenskala vom Materiale des Prismas abhängt und bei verschiedenen Glassorten etwas verschieden ist.

Das Rot reicht von der äussersten Grenze des Spektrums bis zur Linie *C*; es ist ein Rot mit etwas gelblichem Stich, von jener Farbe, die etwa der Zinnober besitzt. Von *C* bis zur Linie *D* geht das Rot in Orange über, welches knapp hinter *D* dem reinen Gelb weicht.

Fig. 1.

Das Orange der *D*-Linie entspricht etwa dem Farbenton der Bleiglätte. Das reine Gelb bildet einen nur sehr schmalen Streifen, geht rasch in Gelbgrün über, und zwischen *E* und *b* liegt ein etwas gelbstichiges Grün, das der Farbe des Schweinfurter Grüns entspricht. Hinter *b* beginnt reines Grün, und bei *F* liegt eine schmale Zone Blaugrün, das Holmholtz Cyanblau nannte. Dieses grünliche Blau entspricht der Farbe grosser Wassermassen und kann bei Gebirgsseeen und Gletschereis beobachtet werden. Hinter *F* verliert das Blau langsam den grünlichen Stich und geht in ein rötliches Blau und endlich bei der Linie *G* in Violett über. Das rötliche Blau wird allgemein als Indigo bezeichnet, thatsächlich ist es aber dem Ultramarin ähnlich. Von *G* bis zum Ende des Spektrums breitet sich eine Zone von blaustichigem Violett aus, ungefähr von der Farbe des Methylvioletts.

Nach König und Dieterici[1]) sind im roten Ende des Spektrums bis zur Linie *C* nur Unterschiede in der Helligkeit wahrzunehmen, während die Färbung dieser Strecke demselben roten Ton entspricht; ebenso ist die violette Endstrecke, von der Linie *G* angefangen, von gleicher Färbung, nur die Helligkeit nimmt successive ab.

Wenn es sich also nur um die im Spektrum vorhandenen Farbentöne handelt, so kommt nur der Teil von der Linie *C* bis *G* in Betracht.

Die Verteilung der Farben im Spektrum ist eine sehr ungleichmässige; dem Rot-Orange, Grün- und Blau-Violett kommen sehr breite Zonen zu, während das Gelb und Blaugrün auf einen sehr schmalen Übergangsstreifen zusammengedrängt ist.

Rotviolett, sogen. Purpur, welcher unter den Farbstoffen durch die Glieder der Eosingruppe repräsentiert wird, fehlt im Spektrum, kann aber durch Übereinanderlegen des roten und violetten Endes gebildet werden. Durch Einschalten von Purpur bilden dann die Spektralfarben eine in sich zurückkehrende geschlossene Farbenreihe.

Es giebt noch eine zweite Methode zur Erzeugung des Spektrums, die also gleichfalls die Möglichkeit bietet, gemischtes Licht in seine Bestandteile zu zerlegen.

Sie beruht auf Verwendung einer Glasplatte, die mit einem dichten Netz äusserst zarter, eingeritzter Linien überzogen ist. Fällt ein schmaler Lichtstrahl durch ein solches Liniennetz, das man als Gitter bezeichnet, so entsteht ein Spektrum, das zwar die gleiche Farbenfolge wie das Prismenspektrum zeigt, sich aber von diesem durch die Ausdehnung und Intensität der einzelnen Farbenzonen wesentlich unterscheidet. Die Wellenlängenskala zeichnet sich, wie Fig. 2 zeigt, durch eine sehr einfache Gestalt

1) Helmholtz, Physik. Optik, S. 320.

aus, indem gleiche Differenzen der Wellenlängen gleichen Abständen entsprechen. Diese Eigentümlichkeit macht das Gitterspektrum für viele Zwecke äusserst wertvoll, und da das Material, auf dem das Gitter hergestellt ist, kleinerlei Einfluss auf die Farbenverteilung ausübt, so wird es bei wissenschaftlichen Untersuchungen stets als „Normalspektrum“ benutzt.

Am ausgedehntesten ist im Gitterspektrum das Rot, Grün nimmt etwa denselben Raum ein wie im prismatischen Spektrum, und dem Blauviolett kommt eine nur geringe Ausbreitung zu. Gelb liegt in der Mitte und ist ebenso wie Blaugrün auf einen nur schmalen Streifen beschränkt.

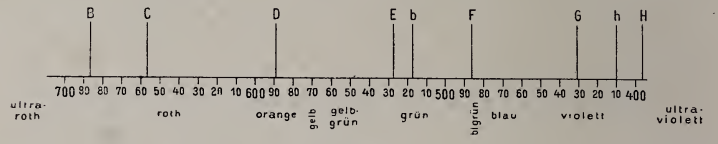


Fig. 2.

In der Praxis benutzt man aber mit Vorliebe das Prisma, nicht nur weil das Gitter — das pro Centimeter etwa 2000 Linien besitzen muss — kostspielig ist und vorsichtig behandelt werden muss, sondern weil auch die Lichtstärke des prismatischen Spektrums jene des Gitterspektrums bedeutend übertrifft.

Wie oben bemerkt wurde, entsprechen den im Spektrum vorhandenen Farben Ätherwellen mit 400 bis 750 Billionen Schwingungen pro Sekunde. Verschiedene Versuche haben gelehrt, dass im Sonnenlichte auch Ätherwellen mit bedeutend grösserer und kleinerer Schwingungsdauer vorhanden sind, dass also das Spektrum über seine beiden Enden reicht, ohne dass jedoch unser Auge im stande wäre, diese Strahlengattungen wahrzunehmen. Diese jenseits Rot und Violett liegenden, als ultrarot und ultraviolett bezeichneten Strahlen werden nicht mehr als Licht empfunden, sie vermögen aber chemische Wirkungen

hervorzubringen. Lässt man nämlich das Sonnenspektrum auf eine photographische Platte von passender Beschaffenheit fallen, so erhält man ein weit über die Grenzen des sichtbaren Spektrums reichendes Band, das auch im ultraroten und ultravioletten Teile von zahlreichen dunklen Linien unterbrochen wird. Die ultraroten Strahlen nehmen wir nicht wahr, weil sie von wässerigen Flüssigkeiten absorbiert werden, also nicht bis zur Netzhaut des Auges dringen können, während die Unsichtbarkeit der ultravioletten Strahlen lediglich durch den Mangel an Empfindlichkeit unseres Sehapparates für so rasche Äthervibrationen erklärt wird.

Zur bequemen Beobachtung des Spektrums benutzt man eigene Apparate, die den Namen Spektroskope führen. Um sich vom Sonnenlichte unabhängig zu machen und bei der Verwendung künstlicher Lichtquellen, in deren Spektrum die zur Orientierung dienenden Fraunhoferschen Linien fehlen, doch eine Definition der Spektralfarben zu ermöglichen, wird bei diesem Apparate ein Massstab derart angebracht, dass sein Bild gleichzeitig mit dem Farbenband des Sektrums sichtbar ist. Bestimmt man einmal die Lage seiner Teilstriche mit Hilfe der Fraunhoferschen Linien, so ist man dann stets im stande, die einem bestimmten Skalenteil zukommende Spektralfarbe anzugeben. Es giebt jedoch auch Instrumente, wie das Zeisssche Vergleichs-Spektroskop, welche mit einer in Wellenlängen geteilten Skala versehen sind.

Im Spektrum eines farbigen Lichtes fehlen gewisse Teile, die sich als schwarze Bänder mit meist verwaschenen Rändern markieren. Sieht man z. B. mit dem Spektroskop gegen eine weisse Lichtquelle, die ein vollkommenes Spektrum giebt, und setzt dann vor das Instrument eine mit Eosin überzogene Glasplatte, so verschwindet der grüne Teil des Spektrums, weil der rote Farbstoff die grünen Strahlen absorbiert hat.

Um eine umständliche Beschreibung solcher „Absorptions-Spektren“ zu umgehen, ist eine graphische Darstellung derselben gebräuchlich, aus der sich alle Eigentümlichkeiten der Absorption entnehmem lassen. Auf einer Horizontallinie, welche in Fig. 1 oder 2 durch die Fraunhoferschen Linien abgeteilt ist, werden die fehlenden Teile des Spektrums durch eine Kurve angezeigt, die um so höher ansteigt, je intensiver der Schatten an der betreffenden Stelle ist. Aus der Gestalt der Kurve erkennt man dann nicht nur die Gattung der absorbierten Strahlen, sondern auch die Intensität der Absorption. So ist aus der Darstellung in Fig. 3 zu entnehmen, dass das Licht

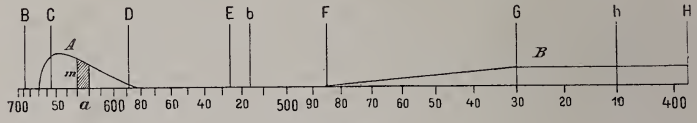


Fig. 3

nach der Absorption hauptsächlich aus grünen Strahlen besteht, weil über den orangeroten und blauen Teil des Spektrums zwei Kurven A und B eingezeichnet sind; weiter sieht man, dass das durch die Kurve A charakterisierte Schattenband gegen das rote Ende des Spektrums ziemlich scharf begrenzt ist, während es über Orange allmählich verwaschen ausläuft. Die Kurve B zeigt, dass die violetten Strahlen gleichmässig gedeckt sind und die Absorption zwischen F und G allmählich verläuft.

Bildet man aus der gleichen Lichtquelle ein prismatisches und ein Gitterspektrum, so muss die Quantität der farbigen Bestandteile in beiden Spektren offenbar die gleiche sein, nur sind sie auf verschiedene Räume verteilt, daher auch von verschiedener Intensität. Die Form der Absorptionskurven wird daher in beiden Spektren eine verschiedene sein.

Auf Grund der Wellenlängenskala ist es leicht, die mit dem Prisma erhaltenen Resultate auf das Normalspektrum zu übertragen, denn die zwischen gleichen Skalenteilen liegenden Farben sind die gleichen, und ihre Intensität muss verkehrt proportional dem von ihnen ausgefüllten Raume sein.

Sollen die eben besprochenen Absorptionsverhältnisse (Fig. 3) auf ein Gitterspektrum (Fig. 4) übertragen werden, so hat man zu beachten, dass z. B. die Strahlen zwischen 630 und 640 μ die Ausdehnung a besitzen und durch einen Schatten von der Intensität m überdeckt sind; im Normalspektrum kommt dieser Strahlengruppe eine grössere Ausdehnung, nämlich b zu, daher wird die Intensität des

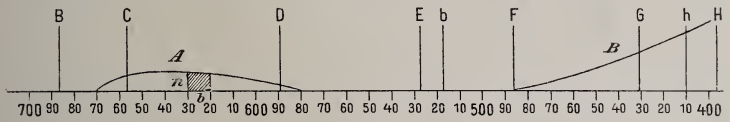


Fig. 4.

sie abschwächenden Schattens n kleiner sein. Es muss $am = bn$ sein, daher man $n = \frac{a}{b} \cdot m$ leicht berechnen kann.

Für zwei Spektren von gegebener Ausdehnung kann man das Verhältnis $\frac{a}{b}$ für verschiedene Wellenlängen ein für allemal ermitteln, und es unterliegt dann keinem Anstande die Absorptionskurven von einem Spektrum auf das andere zu übertragen.

In vorliegendem Fall ergeben sich z. B.

für die	Wellenlängen	700,	$\frac{a}{b}$ =	6,0,
„	„	650,	„	2,2,
„	„	600,	„	1,6,
„	„	550,	„	1,2,
„	„	500,	„	0,9,
„	„	450,	„	0,6,
„	„	400,	„	0,3.

Werden in dieser Weise die in Fig. 3 dargestellten Absorptionsverhältnisse umgerechnet, so ergeben sich die Kurven *A* und *B* für das Normalspektrum (Fig. 4); sie charakterisieren die Form jener Absorptionsbänder, die man bei Benutzung eines Gitterspektrographen erhalten hätte. Wie man sieht, fehlt hier der steile Abfall der Kurve *A* gegen das rote Ende, er ist im prismatischen Spektrum durch die mit wachsender Wellenlänge zunehmende Konzentration der Strahlen bedingt, und die Kurve *B* steigt fast stetig von *F* gegen Violett an. Weiter zeigt sich eine sehr bedeutende Differenz in der Intensität der Schattenbänder *A* und *B*, während das Prismenspektrum gleich intensive Absorption in Blau und Rot zeigt.

Bei der Wahrnehmung einer Farbe machen sich gewisse Eigentümlichkeiten bemerkbar, die sich in zwei Empfindungsreihen ordnen lassen. Wir unterscheiden den Farbenton, d. i. die eigentliche, von Schwarz und Weiss qualitativ verschiedene Farbenempfindung, und die Reinheit, welche durch Abwesenheit einer gleichzeitigen Schwarz- und Weissempfindung bedingt wird. Alle Übergänge von der reinen Farbe zu ihren Mischungen mit Schwarz, Grau oder Weiss bezeichnet man als Nuancen.

Vom physikalischen Standpunkte sind dagegen drei Variable bei einer Farbenempfindung zu unterscheiden: 1. der Farbenton, welcher durch die verschiedene Wellenlänge des Lichtes bedingt wird, 2. die Helligkeit oder Intensität, die von der Amplitude der Lichtwellen abhängt, und 3. die Sättigung, welche von dem verschiedenen Grad der Einheitlichkeit der Lichtwellen bestimmt wird. Sind nur Wellen einer Länge vorhanden, so erhalten wir die Empfindung der vollsten Sättigung, sind aber gleichzeitig verschiedene Wellen beigemischt, die sich zu der Empfindung „Weiss“ summieren, so wird die Sättigung mehr oder weniger beeinträchtigt. Die fehlende Sättigung kann auch als „Weisslichkeit“ bezeichnet werden.

Bezüglich der „Helligkeit“ ist zu bemerken, dass die verschiedenen Farben an und für sich einen verschieden hellen Eindruck hervorbringen; gelbes Licht wirkt bekanntlich ungleich heller als blaues. Diese „spezifische“ Helligkeit der Farben darf mit dem oben präzisierten Begriff nicht verwechselt werden. Die im Sprachgebrauche übliche Bezeichnung Helligkeit bezieht sich auch oft auf die Weisslichkeit, denn man bezeichnet als Hellblau ein durch Weiss nuanciertes Blau u. s. w.

Gemischtes Licht.

Von grosser Wichtigkeit für das Verständnis der gesamten Farbenlehre ist das Verhalten farbiger Lichter bei ihrer Mischung. Fällt nicht nur Licht von einer Wellenlänge in unser Auge, sondern ein Gemisch verschiedenfarbiger Strahlen, so nehmen wir die einzelnen Komponenten nicht gleichzeitig wahr, es entsteht vielmehr nur eine einheitliche Empfindung.

Der Versuch lehrt, dass durch Mischung von zwei einfachen, also dem Spektrum entnommenen Lichtarten nicht nur eine farbige Empfindung, sondern auch jene des reinen Weiss entstehen kann.

Weiss bildet sich also nicht nur bei Vereinigung aller Spektralfarben, sondern bei passender Wahl genügen schon zwei derselben, um diese Empfindung hervorzubringen.

Zwei Farben, die in einem bestimmten Verhältnisse gemischt Weiss geben, nennt man komplementäre Farben, und aus dem Spektrum lassen sich eine unendliche Zahl solcher Farbenpaare auswählen.

Komplementär sind:

Rot und Blaugrün,
Orange und Cyanblau,
Gelb und Rötlichblau,
Grünlichgelb und Violett.

Überdies ist jeder Übergangsfarbe von Rot bis Grünlichgelb eine zwischen Blaugrün und Violett liegende Farbe komplementär. Zu dem spektralen Grün ist keine einfache Komplementärfarbe vorhanden, es ergänzt sich aber mit Purpur, also einem Gemisch von Rot und Violett, zu Weiss.

Auf Grund dieser Versuchsergebnisse lässt sich der allgemeine Satz aufstellen: Zu jeder Farbe giebt es eine zweite, welche mit ihr vermischt farbloses Licht liefert.

Man hat auch die Wellenlängen der sich zu Weiss ergänzenden Lichtstrahlen bestimmt und nachstehende Strahlengattungen komplementär gefunden:

Rot von der Wellenlänge 640 ist komplementär zu Grün von der Wellenlänge 500,

Orange von der Wellenlänge 590 ist komplementär zu Blau von der Wellenlänge 487,

Goldgelb von der Wellenlänge 573 ist komplementär zu Blau von der Wellenlänge 475 u. s. w.

Derartige Bestimmungen sind aber stets von der individuellen Beschaffenheit des Auges abhängig, daher auch die Resultate verschiedener Beobachter, namentlich bei den Endfarben des Spektrums, Differenzen bis zu zehn Angströmschen Einheiten aufweisen.

Mischt man zwei Farben, welche im Spektrum näher aneinander liegen als die Komplementärfarben, so resultiert eine zwischenliegende Spektralfarbe und gleichzeitig etwas Weiss. Die Menge des letzteren ist um so grösser, die Mischfarbe ist also um so weniger gesättigt, je weiter die beiden Farben voneinander abstehen. Liegen die beiden Farben weiter auseinander als Komplementärfarben, so vereinen sie sich bei der Mischung zu einer ausserhalb der beiden Farben gelegenen nicht gesättigten Spektralfarbe. Mischt man die beiden Enden des Spektrums, so entsteht Purpur, welchem aber gleichfalls die volle Sättigung der Spektralfarben fehlt.

Die nachfolgende, der physiologischen Optik von Helmholtz entnommene Tabelle zeigt das Ergebnis der Mischung von je zwei Spektralfarben in übersichtlicher Form.

An der Spitze der horizontalen und vertikalen Kolumnen stehen die einfachen Farben, wo sich die beiden Kolumnen schneiden, ist die Mischfarbe angegeben.

	Violett	Indigo	Cyanblau	Blaugrün	Grün	Grüngelb	Gelb
Rot	Purpur	d.-Rosa	w.-Rosa	Weiss	w.-Gelb	Goldgelb	Orange
Orange	d.-Rosa	w.-Rosa	Weiss	w.-Gelb	Gelb	Gelb	
Gelb	w.-Rosa	Weiss	w.-Grün	w.-Grün	Grüngelb		
Grüngelb	Weiss	w.-Grün	w.-Grün	Grün			
Grün	w.-Blau	Wasserblau	Blaugrün				
Blaugrün	Wasserblau	Wasserblau					
Cyanblau	Indigo						

d. = dunkel; w. = weisslich.

Aus dieser Tabelle ist zu entnehmen, in wie differenter Weise die gleiche Mischfarbe erhalten werden kann; so giebt z. B. Gelb und Violett ebenso wie Rot und Cyanblau dieselbe Mischfarbe, nämlich weisslichen Purpur, sogen. Rosa.

Da mit den Farben des Spektrums und Purpur alle denkbaren Farbentöne erschöpft sind, so kann auch durch Mischung von mehr als zwei Farben keine neue Farbenempfindung hervorgerufen werden; je grösser aber die Zahl der Komponenten in einer Mischung wird, desto mehr tritt der neue Farbenton gegen das sich gleichzeitig bildende Weiss zurück, desto geringer wird die Sättigung der Mischfarbe sein. Gelangen daher die Strahlen eines beliebigen, dem Spektrum entnommenen Ausschnittes in unser Auge, so kann wieder nur die Empfindung einer Spektralfarbe (oder Purpur) entstehen. Die resultierende Mischfarbe, welche um so weniger gesättigt sein wird, je breiter der Ausschnitt gewählt wurde, muss zur Mischfarbe des Spektrumrestes komplementär sein.

Die Mischversuche mit farbigen Lichtern haben weiter ergeben, dass die Zusammensetzung derselben auf das Mischresultat ganz ohne Einfluss ist, dass also gleich aussehende Farben auch gleich aussehende Mischtöne geben. Rot und Gelbgrün vereinen sich zu Gelb, und dieses verhält sich in Mischungen genau so, wie homogenes Spektralgelb oder ein Gelb, das durch Addition der Strahlen einer ganzen Spektralzone entstanden ist.

Gestützt auf diesen Satz, lassen sich die Mischungsgesetze für die Spektralfarben auf die zusammengesetzten Lichter, wie sie von transparenten farbigen Medien geliefert werden, übertragen.

Fällt weisses Licht durch ein farbiges Glas, eine Farbstofflösung u. s. w., so gehen gewisse, meist einer ganzen Spektralzone angehörende Strahlengattungen durch Absorption verloren, daher der durchgegangene Strahlenrest farbig erscheint. Das farbige Glas u. s. w. wirkt also ähnlich einem Filter, dieses sondert ungelöste Teilchen aus einer Flüssigkeit, jenes hält gewisse Strahlengattungen zurück.

Die durchgelassenen Strahlen gehören einem Ausschnitte des Spektrums an, entsprechen also in ihrer Vereinigung einem einzigen weisslichen Farbenton und verhalten sich bei Mischungen ebenso wie die einfachen Spektralstrahlen. Das spektrale Orange und Grün summieren sich zu Gelb, und dieselbe Farbe, allerdings von geringerer Sättigung, wird auch entstehen, wenn man die durch entsprechend gefärbte Gläser erzeugten Lichter mischt.

Die Mischung oder Addition solcher Lichter kann in verschiedener Weise vorgenommen werden, sie ist aber streng von einer Vereinigung der farbigen Medien, die man durch Übereinanderlegen der Glasplatten oder Mischung der Farbstofflösungen bewirkt, zu unterscheiden. Man kann zum Zwecke der Mischung z. B. drei Projektionsapparate benutzen und den Objektiven derselben die gefärbten Glasscheiben, oder die mit Flüssigkeiten gefärbten

Cuvetten vorschalten. Wird dann mit einem der Apparate rotes Licht projiziert, und wirft der zweite auf dieselbe Stelle der weissen Wand grünes Licht, so entsteht als Mischfarbe ein weissliches Gelb. Variiert man die Helligkeit der Lichter durch Vorschalten verschieden transparenter, aber farbloser Platten, so können alle Übergangsfarben von Rot über Gelb zu Grün erhalten werden. Projiziert der dritte Apparat blaues Licht, so wird bei passender Abstimmung aller drei Farben reines Weiss erhalten, und bei entsprechender Änderung ihrer Helligkeiten lassen sich alle denkbaren Farbentöne, aber stets nur als weissliche Nuancen erzielen. Von dieser Einrichtung macht man bei der schon eingangs erwähnten polychromen Projektion Gebrauch.

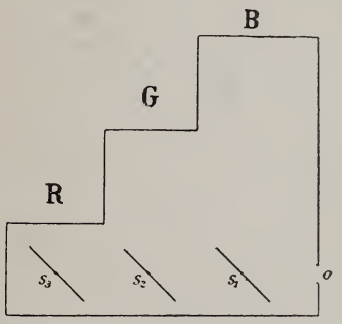


Fig. 5.

Auch mit Hilfe von Spiegeln lässt sich die Mischung farbiger Lichter durchführen, und diese Methode findet beim Photochromoskop Verwendung.

Das Prinzip dieser Apparate ist aus der von C. Zink[1]) gewählten Anordnung am besten ersichtlich. Ein geschlossenes, terrassenförmig gebautes Holzkästchen (Fig. 5) besitzt auf den oberen Flächen *R*, *G* und *B* Ausschnitte, welche mit entsprechend gefärbten Gläsern bedeckt sind. Im Innern sind drei, um horizontale Achsen verstellbare Spiegel s_1, s_2, s_3 angeordnet, welche das, durch die Glasplatten einfallende Licht gegen die Öffnung *o* reflektieren. Die Spiegel s_1 und s_2 bestehen aus unbelegten

1) Krone, Die Darstellung der natürlichen Farben durch Photographie, Seite 112.

dünnen Glasplatten, während s_3 einen Silberbelag besitzt. Das durch die rote Glasplatte einfallende und vom Spiegel s_3 reflektierte Licht passiert die beiden durchsichtigen Spiegel s_2 und s_1 und gelangt in das bei o gedachte Auge des Beobachters. Das durch die Platten G und B einfallende grüne und blaue Licht wird von der Oberfläche der Spiegelgläser s_1 und s_2 gleichfalls nach o reflektiert, daher das dort befindliche Auge die Mischfarbe der drei Lichter wahrnimmt. Variiert man die Helligkeiten, so lassen sich alle denkbaren Farbentöne, aber stets wieder nur als weissliche Nuancen hervorbringen. Bei entsprechender Wahl der gefärbten Platten entsteht die Mischfarbe „Weiss“, und legt man auf R, G und B die Seite 6 erwähnten, passend hergestellten photographischen Positive, so erblickt man bei o das farbige Bild.

Die Theorie der Farbenwahrnehmung.

Wie oben gezeigt wurde, können physikalisch sehr verschieden zusammengesetzte Lichter die gleiche Farbenempfindung hervorrufen. Unser Auge vermag nicht zu entscheiden, ob die Empfindung „Weiss“ durch gleichzeitige Wirkung aller Spektralstrahlen hervorgerufen wird, oder ob z. B. nur Blaugrün und Rot vorhanden sind, und die Mischung Rot und Blau bringt genau dieselbe Empfindung hervor, wie Violett und Gelb.

In dieser Beziehung unterscheidet sich unser Auge wesentlich vom Gehörorgan, welches, von Tonwellen verschiedener Schwingungsdauer getroffen, die einzelnen Töne zwar zu der Gesamtempfindung eines Akkordes vereint, aber doch jeden einzelnen darin wahrnehmen kann. Zwei aus verschiedenen Tönen zusammengesetzte Akkorde sind für das Ohr nie identisch, wie es verschieden zusammengesetzte Farben für das Auge sein können.

Diese eigentümliche Erscheinung wird erklärlich, wenn man sich die einfachen Farben aus mehreren

Elementar-, Grund- oder Urfarben zusammengesetzt denkt, oder, wenn man annimmt, dass unser Auge nur einer beschränkten Zahl von Grundempfindungen zugänglich ist. Diese Annahme liegt den verschiedenen Hypothesen des Farbensehens zu Grunde, und es sollen hier die beiden wichtigsten erörtert werden.

Die von Th. Young (1807) aufgestellte Theorie wurde von Helmholtz und Maxwell acceptiert und findet als Young-Helmholtzsche Farbentheorie die fast ungeteilte Anerkennung der Physiker. Die Theorie nimmt nur drei Arten von lichtempfindenden Nervenfasern im Auge an, durch welche drei verschiedene Grundempfindungen vermittelt werden. Die Reizung der ersten erregt die Empfindung des Rot, Reizung der zweiten die des Grün, Reizung der dritten die Empfindung des Violett. Dieser Annahme entsprechend kann man sich daher sämtliche Farben aus den Grundfarben: Urrot, Urgrün und Urviolett bestehend denken.

Werden alle drei Faserarten gleichzeitig und in gleicher Stärke erregt, so resultiert die Empfindung Weiss, ihr Ruhezustand entspricht der Empfindung Schwarz. Homogenes Licht jeder Farbe erregt stets alle drei Nervenfasern, jedoch in verschiedenem Grade, jede Spektralfarbe ist also aus allen drei Urfarben zusammengesetzt zu denken.

Die Erregungsintensität, welche den homogenen Farben des Spektrums zukommt, ist aus Fig. 6 ersichtlich. Die Ordinate der über dem Spektrum gezeichneten schematischen Kurve R repräsentiert die Reizungsstärke der rotempfindenden Nerven durch die Spektralfarben. Wie zu ersehen ist, werden diese Nervenfasern durch das spektrale Rotorange am stärksten irritiert, aber auch das Gelb, Grün und Blau verursacht eine Erregung derselben. In analoger Weise zeigen die Kurven G und V die Reizung der grün- und violettempfindenden Nervenfasern durch die verschiedenen Spektralfarben.

Denkt man sich die homogenen Farben aus den drei Urfarben zusammengesetzt, so repräsentieren diese Kurven das notwendige Verhältnis, in welchem die Urfarben zu mischen sind, um die Empfindung der Spektralfarben hervorzubringen.

Das spektrale Rot erregt, wie schon erwähnt, stark die rotempfindenden und nur schwach die beiden andern Faserarten; wir erhalten bei einer solchen Reizung unserer Netzhaut die Empfindung Rot.

Das spektrale Rot kann man sich also hauptsächlich aus Urrot und einer geringen Beimischung von Urgrün und Urviolett bestehend denken. Diese Zumischung schwächt die Sättigung der Farbe ab, daher das spektrale Rot im Vergleiche mit dem Urrot weisslich zu denken ist.

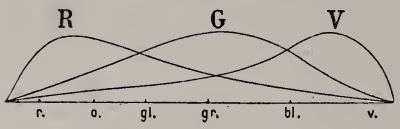


Fig. 6.

Das spektrale Gelb erregt mässig stark die rot- und grünempfindenden, schwach die violettempfindenden Fasern; das spektrale Gelb kann man sich also aus etwa gleichen Mengen Urrot und Urgrün nebst etwas Urviolett zusammengesetzt denken, es repräsentiert eine im Vergleiche mit den Urfarben weissliche Empfindung.

In ähnlicher Weise entstehen die Wahrnehmungen: Grün, Blau und Violett, sie sind stets weisslich zu denken im Vergleiche mit den Empfindungen der reinen Urfarbe, welche nur die Reizung einer einzigen Nervenart hervorbringen würde.

Die oben gezeichneten schematischen Kurven unterscheiden sich wesentlich von jenen, welche durch thatsächliche Mischversuche gefunden wurden, und nach Helmholtz sind die drei Urfarben in allen Spektralfarben fast in gleicher Menge vorhanden und müssen daher im Vergleiche mit diesen äusserst gesättigt gedacht werden.

Nur durch Mischung dieser enorm satten Urfarben können nach der Young-Helmholtzschen Theorie die Spektralfarben und somit auch alle durch Mischung aus diesen hervorgehenden zusammengesetzten Farben zu stande kommen, und es ist nicht zulässig, als Grundfarben die drei Spektralfarben: Rot, Grün und Violett zu betrachten. Wollte man mit Hilfe dieser Farben die verschiedenen Farbenempfindungen nachbilden, und würde man die Mischungsverhältnisse den von Helmholtz[1]) gegebenen Kurven anpassen, so würden nur sehr weissliche, fast farblose Empfindungen resultieren.

Die Wahl der drei Grundfarben hat nach Helmholtz etwas Willkürliches, es könnten beliebige drei Farben gewählt werden, aus denen sich Weiss zusammensetzen lässt. Young hat drei scheinbar ausgezeichnete Punkte des Spektrums gewählt: die beiden Endfarben und die Farbe der Mitte, man könnte aber ebenso gut zwei mittlere Farben, etwa Gelb und Blaugrün nebst Purpur, als Urfarben annehmen.

Die Young-Helmholtzsche Hypothese über die Wahrnehmung der Farben wurde wiederholt als Ausgangspunkt für die Theorie der Dreifarbenbilder benutzt, und aus diesem Grunde wurde sie hier etwas ausführlicher behandelt. Die von Young gewählten drei Grundfarben wurden als die einzig richtigen für die Färbung der drei Teilbilder bezeichnet und die Empfindlichkeitskurven der drei Faserarten als die notwendigen Sensibilisierungskurven für die drei photographischen Platten acceptiert.

Nun ist aber, wie oben gezeigt wurde, die Youngsche Farbenwahl eine willkürliche, daher diese nicht der Grund sein kann, warum sich die Farben Rot, Grün und Violett für die photochrome Projektion und das Photochromoskop am besten eignen sollten.

---

1) Helmholtz, Physiol. Optik, S. 358.

Auch sind wir nicht im stande, der Grundbedingung dieser Theorie zu entsprechen, denn wir verfügen über kein farbiges Licht, welchem die Sättigung der Spektralfarben und noch viel weniger jene der hypothetischen Urfarben zukommen würde.

Die Helmholtzschen Mischungskurven sind daher als Grundlage für die Dreifarbenphotographie nicht verwendbar, da man im Photochromoskop fast farblose Bilder erhalten würde.

Eine wesentlich andere Gestalt zeigen die Kurven, wenn man durch Mischung von drei Spektralfarben, z. B. aus Rot, Gelb und Blau, die zwischenliegenden Töne herzustellen sucht. Allerdings müssen dann, um das spektrale Grün und Orange zu bilden, „negative" Rot- und Blauwerte eingeführt werden, weil die Mischung dieser Zwischenfarben zu weisslich ausfällt. Diesen Vorgang hat z. B. Maxwell eingeschlagen, und die so erzielten Diagramme bilden, bei Vernachlässigung der „negativen" Komponenten, gewiss eine angenähert richtige Basis für die Dreifarbenphotographie, vorausgesetzt, dass die drei Grundfarben richtig gewählt wurden.

Farbentheorie von Hering. Während die Young-Helmholtzsche Theorie nur einen Erregungszustand der Netzhaut kennt, nimmt Hering zwei derartige, gleichwertige Prozesse an. Nach Young-Helmholtz existieren nur die Gegensätze Thätigkeit und Ruhe, und im Zustand der letzteren kann der Nerv längere Zeit, ohne eine Veränderung zu erleiden, erhalten bleiben. Nach Hering erfährt die Sehsubstanz bei der Erregung eine chemische Veränderung, die als Dissimilierung bezeichnet wird, und im Zustande der Ruhe wird die erlittene Veränderung durch einen entgegengesetzten chemischen Prozess, den Assimilierungsprozess, wieder beseitigt. Diese Veränderungen der Sehsubstanz kommen als Licht- und Farbenempfindungen zu unserem Bewusstsein.

Einfache Farbenempfindungen giebt es nach Hering vier: Rot und Grün, Gelb und Blau, sie machen auf uns thatsächlich den Eindruck der Einfachheit und können gleichsam ohne jeden Beigeschmack einer anderen Farbe vorkommen. Alle anderen Farben sind zusammengesetzt, weil wir in ihnen zwei der Grundfarben deutlich unterscheiden können, z. B. im Violett: Rot und Blau u. s. w.

Rot und Grün ebenso wie Blau und Gelb schliessen einander aus, denn sie sind niemals in einer Farbe gleichzeitig bemerkbar.

Hering betrachtet weiter auch Schwarz und Weiss als einfache Empfindungen und unterscheidet so drei Paare von Grundempfindungen, Rot und Grün, Blau und Gelb und Schwarz und Weiss. Diese Empfindungen werden durch die chemische Veränderung, den Stoffwechsel von drei verschiedenen Bestandteilen der Sehsubstanz hervorgebracht. Die Dissimilierung der einen, die man als schwarz-weiss empfindende bezeichnet, verursacht die Empfindung Weiss, ihre Assimilierung die Empfindung Schwarz. Der zweite Bestandteil der Sehsubstanz ist rot-grün empfindend und der dritte blau-gelb empfindend; die Dissimilierung dieser Substanzen bedingt die Rot-, resp. Gelb-Empfindung, während die Assimilierung den Empfindungen Grün und Blau entspricht. Alle Strahlen des Spektrums wirken dissimilierend auf die schwarz-weisse Sehsubstanz, und gemischtes Licht erscheint farblos, wenn es für die rot-grün oder blau-gelb empfindende Substanz oder für beide gleichzeitig, ein gleich starkes Assimilierungs- und Dissimilierungs-Vermögen besitzt. Es tritt dann keinerlei Stoffwechsel in diesen Substanzen auf, und die Empfindung „Weiss“ tritt hervor. So wirkt das spektrale Gelb dissimilierend auf die schwarz-weiss und blau-gelb empfindende Sehsubstanz, dem spektralen Blau kommt gleichfalls eine dissimilierende Wirkung auf die ersteren, dagegen eine

assimilierende auf die letztere zu. Die Mischung von Gelb und Blau hebt sich in der Wirkung auf die blaugelb empfindende Substanz auf, bewirkt aber die Dissimilierung der schwarz-weissen, verursacht also die Empfindung: Weiss.

Zwei Strahlengattungen, die gemischt Weiss geben, sind also nicht als „komplementäre", sondern als „antagonistische" Lichtarten zu betrachten, und im Sinne der Heringschen Theorie kann man nicht von „komplementären Farben", sondern von „Gegenfarben" sprechen.

Die eben entwickelte Theorie vermag gewisse, nicht durch den direkten Lichtreiz hervorgebrachte, sogen. subjektive Licht- und Farbenerscheinungen viel ungezwungener als die Young-Helmholtzsche Hypothese zu erklären und wurde aus diesem Grunde von den Physiologen allgemein acceptiert. Sie wurde hier entwickelt, um einerseits zu zeigen, dass die Annahme der Youngschen Grundfarben kein wissenschaftliches Axiom bildet, das geeignet wäre, der Theorie der Dreifarbenbilder als Stütze zu dienen, und um anderseits die Wahl von vier, lediglich den Äusserungen unseres Bewusstseins entnommenen Grundfarben zu präzisieren, da diese für die später auszuführende Entwicklung der Dreifarbensysteme zur Anwendung gelangen werden.

C. Körperfarben und Farbstoffe.

Absorbiert ein Körper das ganze auffallende weisse Licht, so erscheint er schwarz, reflektiert er alle Strahlen, so erscheint er weiss, absorbiert er nur einen Teil derselben, jedoch derart, dass im reflektierten Rest nur sich zu Weiss ergänzende Strahlengattungen vertreten sind, so bezeichnen wir ihn als grau, und reflektiert er endlich Strahlen, die sich zu einer farbigen Mischung vereinen, so erscheint er farbig.

Zeigen farbige Körper im gelösten oder pulverigen Zustande ein besonders hohes Absorptionsvermögen für

gewisse Strahlengattungen, zeichnen sie sich also auch bei grosser Verdünnung noch durch eine charakteristische Färbung aus, so bezeichnet man sie als Pigmente oder Farbstoffe.

Im gewöhnlichen Leben nennt man die Farbstoffe wohl auch „Farben", eine Bezeichnung, die aber thunlichst vermieden werden sollte, da „Farbe" eine Eigenschaft der Körper ist, unter „Farbstoff" aber ein farbiger Körper verstanden wird, der zum Färben anderer Körper dient.

In gleicher Weise, wie bei den farbigen Lichtern, unterscheidet man auch bei den Körperfarben den Farbenton und die Nuancen. Dagegen sind die Begriffe „Reinheit" und „Sättigung" bei Pigmentfarben in etwas anderer Weise gebräuchlich. Unter „Reinheit" versteht man die Abwesenheit der Empfindung „Schwarz", die schwärzlichen Nuancen bezeichnet man daher als „unreine Farben"; die „Sättigung" einer Körperfarbe hängt von der Menge des gleichzeitig vorhandenen Weiss ab, die weisslichen Nuancen werden somit als „wenig gesättigt" bezeichnet. Statt Sättigung wird auch der Ausdruck „Intensität" angewendet.

Der mehr oder minder helle Eindruck, den ein farbiger Körper hervorbringt — also seine „Helligkeit" — wird durch die Seite 23 erwähnte spezifische Helligkeit und durch die Weisslichkeit seiner Farbe bedingt.

Überzieht man (Fig. 7) ein Blatt weissen Papieres *PP* mit einer Farbstoffschicht *EE*, z. B. mit gelöstem Eosin, so wird ein auf das Papier fallender weisser Lichtstrahl *S* beim Durchdringen der Eosinschicht den grünen Strahlenanteil verlieren; der Lichtstrahl trifft also „rot gefärbt" die Papieroberfläche, einen weissen unregelmässig reflektierenden Körper, wodurch er nach allen Richtungen zerstreut wird. Von diesem Punkte gehen daher farbige Lichtstrahlen *s* aus, und gelangen, nachdem sie die Eosinschicht erneuert durchsetzt, also an Färbung wieder ge-

wonnen haben, in unser Auge. Ein Teil des auftreffenden weissen Lichtes wird aber schon von der Oberfläche der Farbstoffschicht zerstreut und nach s_1 reflektiert, gelangt also ungefärbt in unser Auge und schwächt so den satten Eindruck der gefärbten Fläche ab. Besteht die Farbstoffschicht aus pulverigen durchsichtigen Teilchen, so erfolgt die Färbung des Lichtes in ganz gleicher Weise; fehlt aber den Teilchen die notwendige volle Transparenz, so wird der auftreffende Lichtstrahl gar nicht bis zur weissen Unterlage eindringen, er wird schon an den Grenzflächen der einzelnen Farbstoffpartikeln reflektiert und gelangt daher in wenig gefärbtem Zustande in unser Auge. Aus diesem Grunde erscheinen Deckfarben immer weisslicher als Lasurfarben.

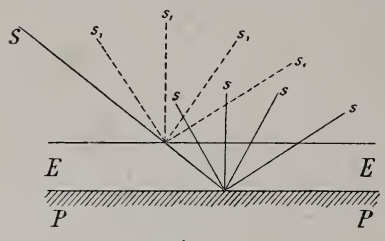


Fig. 7.

Bekanntlich kommt auch die charakteristische Färbung eines pulverigen Pigmentes erst nach der Mischung mit einem flüssigen Körper zur vollen Geltung, denn in das trockene reine Farbstoffpulver vermag das Licht nicht tief genug einzudringen, es wird in noch wenig verändertem Zustande reflektiert. Vereint man aber die Farbstoffteilchen mit einem durchsichtigen farblosen Körper, so entsteht eine fast einheitliche Masse, der Lichtstrahl vermag tief einzudringen und wird in intensiv gefärbtem Zustande reflektiert. In dieser Weise wirkt das Wasser beim Anrühren eines Farbstoffes, das Gummi und der Firnis bei Aquarell und Ölfarben. Je näher das Lichtbrechungsvermögen des transparenten Mediums jenem des Farbpulvers, desto homogener ist in optischer Beziehung die Mischung, und desto tiefer und satter wird die Farbe erscheinen. Damit erklärt sich die satte Farbenpracht des Öl-

gemäldes im Gegensatz zum weisslichen Kolorit des Aquarelles.

Der Farbstoff spaltet gleichsam das auffallende weisse Licht in zwei Teile, in einen absorbierten und einen reflektierten; seine Farbe ist daher stets komplementär zu jener der verschluckten Strahlen. Welche Zusammensetzung aber den beiden Teilen zukommt, kann das Auge nicht entscheiden, darüber vermag nur die Analyse mit dem Prisma aufzuklären. Für derartige Untersuchungen sind die kompendiösen, lichtstarken Taschenspektroskope, die nach Angabe von Dr. H. W. Vogel von der Firma Schmidt & Haensch hergestellt werden, vorzüglich geeignet. Man hält die gefärbte, auf die Zusammensetzung des reflektierten Lichtes zu untersuchende Fläche in der Nähe des Fensters derart, dass sie durch das Himmelslicht voll beleuchtet wird, und sieht durch das vertikal gehaltene Spektroskop gegen dieselbe. Man erblickt dann nur jenen Teil des Farbenbandes, der den reflektierten Strahlen entspricht, während die absorbierte Spektralzone durch ein Schattenband — das Absorptionsband — geschwächt erscheint.

Ungleich sicherer lassen sich aber die Absorptionen beobachten, wenn man das Teilspektrum mit einem vollständigen vergleicht, weil dann jede, noch so geringe Schwächung einzelner Zonen sehr deutlich zu erkennen ist.

Diese Möglichkeit bietet das Vergleichsspektroskop von C. Zeiss in Jena.

Man erblickt in diesem Instrument zwei Spektren knapp nebeneinander, und durch Vorschalten des zu prüfenden Objektes in den Strahlengang des einen lässt sich der Verlauf des Absorptionsbandes ungemein deutlich beobachten.

Gefärbte Papiere u. s. w. beobachtet man im reflektierten Lichte, wobei man zum Vergleich die vom weissen Papier reflektierten Strahlen benutzt. Für die

Untersuchung der Absorptionsspektren von Flüssigkeiten sind dem Instrument eigene Gefässe beigegeben, welche die Möglichkeit bieten, während der Beobachtung die Dicke der wirksamen Schicht innerhalb weiter Grenzen zu verändern.

Das Zeisssche Vergleichsspektroskop ist mit einer Wellenlängen-Skala ausgerüstet, daher die Lage und Breite der Absorptionsbänder direkt in Wellenlängen abgelesen werden kann.

In dieser Weise durchgeführte Versuche lehren uns, dass die von einem Farbstoff absorbierten Strahlen niemals nur einer Wellenlänge angehören, sondern stets eine mehr oder minder breite Zone des Spektrums umfassen. Die Lage dieses Absorptionsbandes ist für den Farbenton des Pigmentes charakteristisch, und die Gestalt, besonders aber die Breite des Bandes, bedingen die Nuancen der Farbe.

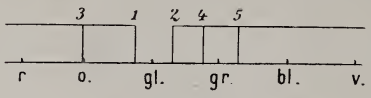


Fig. 8.

Wenn man von der spezifischen Helligkeit der Farben absieht, und gleiche Intensität des auffallenden weissen Lichtes voraussetzt, so wird ein Pigment um so dunkler erscheinen, je breiter das ihm zukommende Absorptionsband ist. Ein Farbstoff, der nur die schmale Zone der gelben Strahlen reflektiert, dessen Absorptionsband also von beiden Enden des Spektrums bis 1 und 2 (Fig. 8) reicht, erscheint gelbbraun, weil ein lichtschwaches, dunkles Gelb diese Empfindung hervorbringt. Wird der reflektierte Teil des Spektrums breiter, reicht er etwa bis 3 und 4, so wird die Farbe reiner, da das gleichzeitig reflektierte Orange und Gelbgrün sich zu Gelb vereinen und die Wirkung des einfachen Gelb verstärken.

Wird auch das gesamte Rot und Grün reflektiert, besteht also nur mehr das einseitige bis 5 reichende Absorptionsband, so ergiebt sich ein weiterer Zuwachs

an Gelb; alle Strahlengattungen, welche bei gegenseitiger Mischung Gelb hervorbringen können, sind jetzt an der Farbenbildung beteiligt.

Wird die reflektierte Spektralzone noch breiter, wird also auch Blaugrün reflektiert, so vereint sich dieses mit dem Rot zu Weiss, und die Helligkeit der Farbe nimmt nur mehr infolge der eintretenden Weisslichkeit zu.

Aus diesen Erwägungen lässt sich folgern:

1. Die relativ reinste Farbe kommt einem Pigment zu, wenn die reflektierte Spektralzone etwas kleiner als die Entfernung zweier Komplementärfarben ist, und
2. ist die reflektierte Zone kleiner, so treten schwärzliche Nuancen auf, ist sie breiter, so kommen dem Farbstoff weissliche Nuancen zu.

Die einseitige Absorption der Farbstoffe wird gewöhnlich durch ein mehr oder minder breites Band hervorgerufen, das im sichtbaren Spektrum beginnt und im Ultrarot oder Ultraviolett endet. So beginnt das Absorptionsband der gelben Pigmente im Grün oder Blau, reicht über das Violett, absorbiert aber nicht das gesamte Ultraviolett, sondern endet hinter der Linie *H*. Je weiter gegen Rot zu die Absorption beginnt, desto früher endet sie auch. Rote Farbstoffe reflektieren daher meist das sichtbare Violett, bei orange Pigmenten reicht die Absorption nur knapp bis zur Linie *H*, während bei gelben Farbstoffen mit grünlichem Stich, z. B. Pikrinsäure, die Absorption erst im Blau beginnt und weit in das Ultraviolett reicht.

Diese durch photographische Aufnahmen des Spektrums leicht nachweisbare Thatsache erklärt das eigentümliche Verhalten roter und gelber Farbstoffe gegen die gewöhnliche photographische Platte. Erstere, sowie auch orange Pigmente erscheinen in der Photographie ziemlich hell, dagegen sind gelbe Farbstoffe ebenso wirkungslos wie Schwarz.

Aber auch dem vom Absorptionsband nicht gedeckten Teil des Spektrums kommt in der Regel eine nur beschränkte Ausdehnung zu. Bei gelben Pigmenten reicht diese Zone bis zum Blau, sie umfasst aber nicht das ganze spektrale Rot, sondern ein Teil desselben wird durch ein im Ultrarot liegendes, im sichtbaren Rot endendes zweites Absorptionsband gedeckt. Geht dann der Farbenton des Pigmentes über Grün in Blau über, so verschiebt sich die Zone der reflektierten Strahlen von Rot gegen Violett. Grüne Farbstoffe absorbieren daher das sichtbare Violett und blaue das Ultraviolett.

So kommen fast jedem Farbstoff zwei oder auch mehrere Absorptionsbänder zu, die aber zum Teil im nicht sichtbaren Spektrum liegen.

Vergleicht man verschiedene Farbstoffe in solcher Konzentration, dass sie gleich gesättigt aussehen, so wird man finden, dass die Breite des Absorptionsbandes wesentlich durch die Natur des Farbstoffes bedingt ist. Man unterscheidet in dieser Beziehung Farbstoffe mit schmalen und dabei sehr dichten Absorptionsbändern, sie sind fast ausschliesslich organischer Natur, und Farbstoffe mit breiten, wenig intensiven Bändern, die man meist bei den Mineral- und Erdfarben beobachtet.

In die Gruppe der organischen Farbstoffe gehören die Tier- und Pflanzenfarbstoffe, dann der grösste Teil der aus dem Steinkohlenteer gewonnenen sogen. Teer- oder Anilinfarbstoffe. Während das Absorptionsspektrum dieser Pigmente auch bei hoher und übermässiger Konzentration einzelne Teile des Spektralbandes schattenlos zeigt, deckt bei den gesättigt erscheinenden Erdfarben ein Schattenband das ganze Spektrum.

Diese Eigentümlichkeit erklärt das helle, feurige, an die Spektralfarben mahnende Aussehen der schmalbandigen Pigmente im Gegensatz zu dem matten, schwärzlich nuancierten Eindruck, den die Mineralfarbstoffe hervorbringen.

Aus Fig. 9 ist das Absorptionsspektrum von zwei roten Farbstoffen ersichtlich, *I* gehört einer auf Papier aufgetragenen und dann eingetrockneten Eosinlösung an, *II* entspricht einer Schicht von Krapplack. Der Farbenton beider Flächen ist derselbe, ihre Reinheit ist aber so verschieden, dass der Krapplack neben der leuchtenden Anilinfarbe fast nicht rot, sondern braun erscheint.

Eine scharfe Grenze zwischen beiden Farbstoffgruppen existiert jedoch nicht, und ebenso, wie es zahlreiche Teerfarbstoffe mit breiten Schattenbändern und daher schwärzlichem Aussehen giebt, lassen einzelne

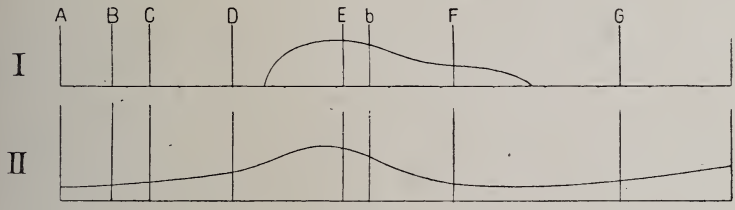


Fig. 9.

Mineralfarben, z. B. Chromgelb, an Reinheit der Färbung nichts zu wünschen übrig.

Die Teerfarbstoffe widerstehen grösstenteils nur sehr schlecht der Einwirkung des Lichtes, sie bleichen rasch aus, man bezeichnet sie als nicht lichtecht. Die Ursache dieser Eigentümlichkeit, die ihre praktische Brauchbarkeit sehr einschränkt, mag zwar zum Teil in ihrem komplizierten chemischen Bau gelegen sein, dürfte sich aber hauptsächlich aus den intensiven schmalen Absorptionsbändern erklären. Die Erfahrung bestätigt diese Anschauung, denn Teerfarbstoffe mit breiten Absorptionsbändern, welchen aber auch das feurige Aussehen fehlt, sind grösstenteils lichtecht, und je schmäler das Absorptionsband, desto brillanter die Farbe, desto unechter der Farbstoff. Das Licht setzt gleichsam an einer einzigen Stelle mit voller Gewalt ein, während bei den breit-

bandigen Pigmenten zwar sehr verschiedene Strahlengattungen, aber keine allzu heftig einwirken. Die Schläge eines keilförmig gestalteten Hammers wirken zerstörender als solche, die mit einem Hammer von breiter Bahn geführt werden.

Das Absorptionsband fällt im Prismenspektrum gegen das rote Ende ungleich steiler ab, als gegen das blaue, und mit zunehmender Konzentration der Farbstoffschicht breitet sich das Band vornehmlich gegen Blau und nur wenig gegen Rot aus. Das äusserste Rot des Spektrums scheint überhaupt von keinem dieser Farbstoffe absorbiert zu werden, und aus diesem Grunde erscheinen die übermässig konzentrierten Lösungen dieser Farbstoffe fast immer rot. Dagegen wird das rote Ende des Spektrums von vielen anorganischen Substanzen vollkommen absorbiert; so deckt z. B. das Absorptionsband einer selbst verdünnten Kupfervitriol-Lösung das ganze spektrale Rot. Die diesem lichtschwachen Teil des Spektrums angehörigen Strahlen üben aber keinen wahrnehmbaren Einfluss auf das Aussehen eines Pigmentes, solange die lichtstarken Strahlengattungen der Absorption entgehen. Eine Lösung von Säuregrün z. B. lässt das ganze Rot bis nahe zur Linie *C* passieren; fügt man eine verdünnte Lösung von Kupfervitriol zu, so ist eine Änderung des Farbentones nicht zu bemerken, obwohl sich das Absorptionsspektrum wesentlich geändert hat.

Auch das spektrale Violett spielt, offenbar aus demselben Grunde, keine Rolle in der Welt der Pigmentfarben. Nach Vogel[1]) verdankt das Methylviolett seine Farbe nur dem spektralen Rot und Blau, denn durch eine mit Kupferoxydammoniak-Lösung gefüllte Cuvette betrachtet, die das ganze Rot verschluckt, erscheint es blau.

---

1) Vogels Handbuch der Photographie, II, S. 249.

Für das Aussehen der Farbstoffe kommen somit die den Endstrecken des Spektrums entsprechenden Strahlen nur ausnahmsweise in Betracht.

Auf den Farbenton einer Farbstofflösung übt die Dispersion und Dichte des Lösungsmittels einen sehr bedeutenden Einfluss aus. So ist die Lösung von Eosin in Wasser blaustichiger als jene in Alkohol, und die Lösung in Chinolin ist von ausgesprochen violetter Farbe.

Lässt man die Lösung eines Farbstoffes auf Papier eintrocknen, oder mischt man sie mit Gelatine oder Kollodium (je nach der Natur des für den Farbstoff benutzten Lösungsmittels), so erscheint das Absorptionsband der trockenen Schicht im Vergleich mit jenem der Lösung in der Regel gegen Rot verschoben; die Farbe blauer und violetter Farbstoffe wird also blaustichiger, während blaugrüne und grüne Farbstoffe grün, resp. gelbstichig werden. Dabei wird das Absorptionsband meist breiter, weniger deckend, an den Grenzen verwaschen, und ändert oft auch seine sonstige Gestalt.

Auch in diesem Falle übt das Lichtbrechungsvermögen des farblosen Körpers einen gewissen Einfluss auf die Verschiebung des Bandes und daher auch auf den Farbenton der Schicht aus, doch sind die Unterschiede, welche gefärbte Kollodium- und Gelatineschichten zeigen, nur gering. Machen sich in dieser Beziehung auffallende Unterschiede bemerkbar, so hat man diese sekundären Erscheinungen zuzuschreiben. Das Kollodium reagiert z. B. meist sauer, daher säureempfindliche Farbstoffe, wie Methylviolett, ihre Farbe beim Eintrocknen der Schicht ändern. Bei Farbstoffen, die in Wasser oder Alkohol ganz unlöslich sind, treten aber oft grelle Unterschiede zwischen der Färbung von Kollodium- und Gelatineschichten auf. Cyanin z. B. liefert rein blaue Kollodiumschichten, setzt man aber die Cyaninlösung der wässerigen Gelatine zu, so scheidet sich der Farbstoff beim Eintrocknen in

äusserst fein verteilter fester Form aus, und man erhält rötlich gefärbte Folien. Dieselbe Erscheinung wird beobachtet, wenn man trockene Gelatineschichten einmal in mit Alkohol verdünnter, das andere Mal in mit Wasser verdünnter Cyaninlösung badet.

Analog den Gelatine- und Kollodiumschichten werden auch solche Körper gefärbt, welche den Farbstoff aus seiner Lösung an sich reissen und unter Bildung molekularer, also physikalischer Verbindungen, festhalten. Tierische Fasern, also auch Papier, dann Kaolin, Bromsilber, flockige Niederschläge, letztere besonders im Entstehungszustande, zeigen diese Eigentümlichkeit, die man als substantive Färbung bezeichnet. Versetzt man die rote, wässerige, verdünnte Rhodaminlösung mit Kaolin, so nimmt dieses jene intensiv violette Färbung an, welche trockene Rhodaminschichten zeigen; der Farbstoff ist eben durch das Kaolin in fester Form ausgeschieden worden.

Führt man den Farbstoff in eine neue chemische Verbindung über, so kann der Farbenton eine wesentliche Änderung erfahren. So wird eine, durch Eosin gefärbte Gelatineschicht bei der Behandlung mit Silbernitrat bläulich, weil Eosinsilber gebildet wird, und aus dem gleichen Grunde nimmt Bromsilber in einer Eosinlösung diese Färbung an und zeigt ein wesentlich anderes Absorptionsspektrum als z. B. mit Eosin gefärbtes Kaolin.

Die mittlere Absorption der Farbstoffe. Da bei jeder farbigen Empfindung der Farbenton und die Reinheit zu unterscheiden sind, so kann die Färbung irgend eines Körpers stets aus einer Spektralfarbe (oder Purpur) unter Zuhilfenahme von Weiss und Schwarz nachgebildet werden. Die Spektralfarbe ist bestimmend für den Farbenton, die Menge Weiss und Schwarz, die man sich zu Grau vereint denken kann, für die Nuance. Der Farbenton kann auch durch ein schmales Absorptions-

band im Spektrum, über der zur Körperfarbe komplementären Strahlengattung liegend, charakterisiert werden.

Handelt es sich also lediglich um den Farbenton eines Pigmentes, so kann sein Absorptionsband durch einen schmalen, nur eine Strahlengattung eliminierenden Absorptionsstreifen ersetzt werden, und nur für die Charakterisierung des reinen Grün und Gelbgrün ist die Annahme zweier solcher Streifen notwendig. Man kann sich diesen Streifen durch Zusammenschieben des dem Farbstoff zukommenden Absorptionsbandes auf eine mittlere Stelle desselben entstanden denken, und kann in diesem Sinne von einer „mittleren Absorption“ sprechen.

Die mittlere Absorption eines Farbstoffes ist von der Form seines Absorptionsbandes gänzlich unabhängig, denn für den Farbenton ist nur die Lage desselben charakteristisch.

Dem eben entwickelten Begriff kommt zwar lediglich eine theoretische Bedeutung zu, denn würde man dem weissen Licht thatsächlich nur Strahlen einer Wellenlänge entziehen, so wäre dies ganz ohne Einfluss auf seine wahrnehmbare Farbe. Er wurde aber eingeführt, um Anhaltspunkte für eine natürliche, den thatsächlichen Empfindungen entsprechende Klassifizierung der Farbstoffe zu gewinnen.

Die mittlere Absorption entspricht nicht der geometrischen Mitte des Absorptionsbandes, denn dieses bildet kein gleichmässig dichtes Schattenband, sondern zeigt an verschiedenen Stellen eine wechselnde Intensität, und überdies ist auch das im Spektroskop erscheinende Band unvollkommen in seiner Form und Ausdehnung.

So zeigt eine ziemlich verdünnte alkoholische Cyaninlösung knapp vor und auf der *D*-Linie ein schmales Band; mit zunehmendem Farbstoffgehalt wächst es gegen Blau etwa viermal so rasch als gegen Rot, daher das Absorptionsband der satt gefärbten Flüssigkeit von *C* bis *F* reicht. Aus diesen Verhältnissen könnte man schliessen,

dass die Farbe der Lösung mit zunehmender Konzentration von Grünlichblau in Violett übergeht. Das ist aber keineswegs der Fall; die verdünnte Lösung ist zwar etwas grünstichiger als die satt gefärbte, beide müssen aber als fast gleich „blau“ bezeichnet werden. Dieser scheinbare Widerspruch zwischen Farbe und Absorption erklärt sich eben aus der Unvollkommenheit der spektroskopischen Beobachtung. Bei Betrachtung der verdünnten Lösung nehmen wir nur das im Orange liegende Maximum der Absorption wahr, während uns ein über Grün lagernder Halbschatten, dessen Vorhandensein auf den Farbenton der Lösung mit bestimmend einwirkt, wegen seiner geringen Intensität ganz entgeht. Das Absorptionsband der satten Lösung erscheint dagegen als gleichmässig schwarzes, von *C* bis *F* reichendes Band, die Flüssigkeit sollte also violett aussehen. Sie ist aber thatsächlich blau und offenbar nur aus dem Grunde, weil sich das im Orange liegende Maximum unserer Beobachtung entzieht. Erst bei übermässiger Konzentration der Cyaninlösung absorbiert diese thatsächlich auch alle grünen Strahlen und erscheint dann wirklich violett.

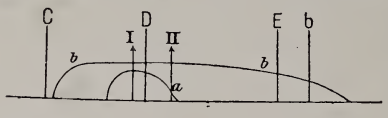


Fig. 10.

Aus Fig. 10 ist die Gestalt der Absorptionsbänder zu entnehmen: *a* entspricht der verdünnten, *bb* der satt blau gefärbten Cyaninlösung. Den früheren Erörterungen entsprechend würde dem Bande *a* eine etwa bei *I* liegende mittlere Absorption entsprechen, d. h. man kann sich den Schatten des Bandes *a* in *I* vereint denken, ohne den Farbenton der Lösung zu verändern, während dem Bande *bb* eine mittlere Absorption etwa bei *II* zukommen würde. Da aber beide Lösungen denselben blauen Farbenton besitzen, so muss ihnen dieselbe mittlere Absorption entsprechen, und diese muss offenbar zwischen *I* und *II* liegen.

Zu einem annähernden Resultat gelangt man, wenn man für eine Anzahl Zwischenkonzentrationen die Absorptionsbänder beobachtet und aus ihren Mitteln einen mittleren Wert bestimmt.

Für die Cyaninlösung ergiebt sich in dieser Weise eine hinter *D*, also im Gelb liegende, der Wellenlänge 570 entsprechende mittlere Absorption. Sie fällt, wie man sieht, mit dem in Orange (Wellenlänge 590) liegenden Absorptionsmaximum — d. i. der dichtesten Stelle des Absorptionsbandes — durchaus nicht zusammen.

Eine zweite Methode zur Bestimmung der für den Farbenton charakteristischen Absorption besteht darin, dass man den zu untersuchenden Farbstoff mit den Farben

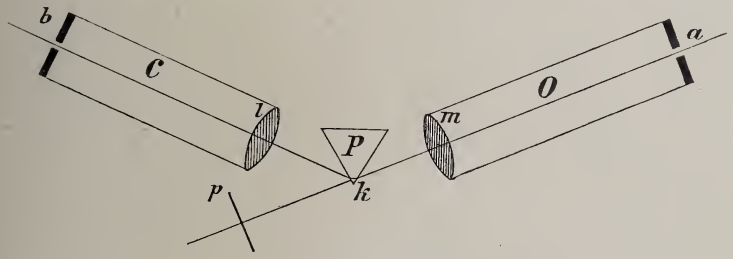


Fig. 11.

des Spektrums vergleicht, also jene Spektralfarbe bestimmt, welche dem Farbenton des Pigmentes entspricht. Entnimmt man dann aus einer Tabelle die zugehörige Komplementärfarbe, so entspricht die Lage derselben im Spektrum der gesuchten mittleren Absorption des Farbstoffes.

Um einen Vergleich mit den Spektralfarben zu ermöglichen, müssen diese isoliert und in grösserer Ausdehnung sichtbar gemacht werden, wozu man sich der von Helmholtz[1]) angegebenen, in Fig. 11 schematisch dargestellten Einrichtung bedient. Man entfernt bei einem Spektroskop das Okularrohr des Fernrohres und setzt an

1) Helmholtz, Phys. Optik, S. 301.

Stelle desselben ein Rohr mit engem Spalt *a* ein, durch den man gegen das Prisma *P* blickt. Dieses wird derart angeordnet, dass seine brechende Kante *k* ungefähr in der Achse des die Objektivlinse *m* tragenden Rohres *O* liegt. *C* ist das Kollimatorrohr mit der Linse *l* und dem gewöhnlichen, der Lichtquelle zugekehrten Spalt *b*.

Sieht man durch den Spalt *a* in den Apparat, so erblickt man die brechende Fläche des Prismas, die das halbe Gesichtsfeld bedeckt, mit nur einer Spektralfarbe beleuchtet, und beim Seitwärtsbewegen des Rohres *O* erscheinen die einzelnen Farben entsprechend ihrer Anordnung im Spektrum.

In der andern Hälfte des Gesichtsfeldes sieht man einen bei *p* aufgestellten Körper, z. B. eine farbige, von rückwärts beleuchtete Glasplatte. Verstellt man das Rohr *R* derart, dass das Gesichtsfeld gleichmässig gefärbt erscheint, so entspricht die Farbe der Glasplatte der eingestellten Spektralfarbe und aus der hierbei notwendig gewesenen Verstellung des Rohres *O* kann man ihre Wellenlänge ermitteln.

In nachstehender Tabelle sind eine Anzahl in solcher Weise bestimmter mittlerer Absorptionen von trockenen, mit Teerfarbstoffen gefärbten Gelatinefolien angegeben, und zum Vergleiche sind die Absorptionsmaxima beigefügt.

Farbstoff	Absorptions-	
	Mittel	Maximum
Naphtholgelb	455	von 455 an
Benzopurpurin	490	485
Erythrosin	532	539
Rose bengale	542	563
Diaminblau	580	650
Jodgrün oder Echtgrün . .	594	625

Diese Angaben können, wie aus ihrer Bestimmungsart hervorgeht, durchaus keinen Anspruch auf volle Richtig-

keit machen, ihre Genauigkeit dürfte jedoch für die Zwecke der Praxis, denen sie hier zu dienen haben, vollständig ausreichen.

Das Verhalten von Farbstoffen bei ihrer Mischung.

Überzieht man eine weisse Fläche mit einem Farbstoff, so nimmt man ihr die Fähigkeit, gewisse Strahlengattungen zu reflektieren, und aus diesem Grunde erscheint sie eben gefärbt. Legt man über die so gefärbte Fläche eine zweite transparente Farbstoffschicht, so absorbiert diese einen Teil der früher reflektierten Strahlen, wodurch der Farbenton eine Veränderung erfährt, und, da die Gesamtmenge der in unser Auge gelangenden Lichtstrahlen verringert wurde, so wird auch die Helligkeit der Fläche herabgesetzt.

Legt man auf weisses Papier eine Eosinschicht, so absorbiert diese die grünen Strahlen, das Papier erscheint daher rot, weil

Weiss — Grün = Rot ist.

Überzieht man das so gefärbte rote Papier mit einem gelben Farbstoff, der die blauen Strahlen absorbiert, so wird es orange, weil

Weiss — Grün — Blau = Orange ist.

In gleicher Weise entzieht jede weitere Farbstoffschicht immer neue Strahlengattungen und wirkt so auf den Farbenton verändernd und gleichzeitig lichtentziehend, also verdunkelnd. Bei einer genügenden Zahl von passend gewählten Farbschichten wird also gar kein Licht mehr reflektiert, die Fläche erscheint schwarz. Wie man sieht, ist das Übereinanderlegen von Farbstoffschichten der Operation des Subtrahierens zu vergleichen.

Ganz analog verhalten sich auch die Farbstoffe, wenn man sie nicht schichtweise übereinander legt, sondern vor dem Auftragen mischt: durch die einzelnen Farbstoffteilchen werden gewisse Strahlengattungen des weissen

Lichtes zurückgehalten, und nur jene gelangen zur Reflexion, die von keinem der beiden Farbstoffe absorbiert wurden. Die gleiche Erscheinung tritt endlich auch beim Mischen gefärbter Flüssigkeiten oder beim Übereinanderlegen farbiger Gläser ein.

Die Mischung von „Farbstoffen“ ist daher streng von der Mischung farbiger Lichter, der additiven „Farben“-mischung, zu unterscheiden.

Die von Farbstoffen reflektierten Strahlengemische lassen sich zwar auch in additiver Weise vereinen, doch müssen zu diesem Zwecke ganz andere Wege eingeschlagen werden. Für Versuchszwecke ist die Verwendung des Farbenkreisels am bequemsten. Man trägt die zu vereinenden Farbstoffe auf eine etwa 20 cm grosse Pappscheibe in Form von Kreisausschnitten nebeneinander auf und versetzt dann die Scheibe in so rasche Rotation, dass die einzelnen Farben nicht mehr zu unterscheiden sind, sondern die ganze Fläche gleichmässig gefärbt aussieht. Die Ausdehnung der Sektoren, am Kreisumfange gemessen, bildet das Mass für die Quantitäten der zu mischenden Farben. Um Mischungen in beliebigen Verhältnissen herstellen zu können, benutzt man am besten entsprechend gefärbte Papiere, aus welchen man Kreisscheiben schneidet. Man versieht sie mit einem radialen Schnitt und steckt zwei oder mehrere derart ineinander, dass jede einen bestimmten Teil der ganzen Kreisfläche bildet. Sämtliche Scheiben sind im Mittelpunkte durchlocht, um sie auf die rotierende Achse aufstecken und befestigen zu können. Als Bewegungsmechanismus verwendet man entweder ein Uhrwerk oder besser einen kleinen Elektromotor, oder eine mit der Hand zu drehende Kurbel mit entsprechender Schnurscheiben-Übersetzung.

Damit eine gleichmässig gefärbte Fläche gesehen wird, muss die Bewegung der Scheibe so rasch erfolgen, dass

der Vorübergang einer Farbe nur $^1/_{20}$ bis $^1/_{50}$ Sekunde beträgt. Bei so raschem Wechsel der Farben vereint sich die Erscheinung der farbigen Sektoren mit dem Nachbilde der früher vorübergegangenen zu einer einheitlichen Empfindung.

Will man die entstehende Farbenmischung mit einer bestimmten Farbe oder mit der aus anderen Komponenten hervorgegangenen Mischung vergleichen, so benutzt man kleinere Papierscheiben von entsprechenden Farben, die man gleichzeitig mit den grossen Scheiben rotieren lässt. Fig. 12 zeigt eine solche Anordnung. Es war zu untersuchen, ob eine bestimmte Sorte Chromgelb und Ultramarin komplementäre Strahlengemische reflektieren. *a* ist die mit Chromgelb, *b* die mit Ultramarin bedruckte Papierscheibe, und um einer Täuschung bezüglich des entstehenden Grau zu begegnen, wurden gleichzeitig zwei kleinere Scheiben *w* und *s* aus schwarzem und weissem Papier mit in Rotation versetzt. Die vier Scheiben wurden so lange gegeneinander verschoben, bis die ganze Kreisfläche einen gleichmässig grauen Farbenton zeigte.

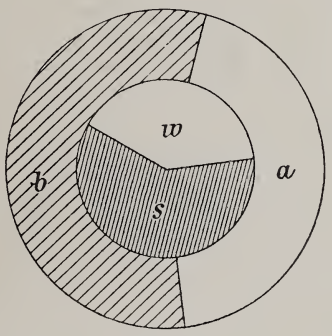


Fig. 12.

Die Messung der Sektoren am Kreisumfang ergab 137 Grad Chromgelb, 223 Grad Ultramarin, 147 Grad Weiss und 213 Grad Schwarz, d. h. durch Vereinigung der Strahlen von 0,38 Teilen Chromgelb und 0,62 Teilen Ultramarin erhält man ein Grau, das aus 0,41 Teilen Weiss und 0,59 Teilen Schwarz besteht, oder als Gleichung dargestellt:

0,36 Chromgelb + 0,62 Ultramarin = 0,41 Weiss
+ 0,59 Schwarz.

CAMERA CLUB LIBRARY
Catalogued & Indexed 1930 by

Dass bei dieser und bei jeder anderen derart ausgeführten Farbenmischung nicht der Eindruck Weiss, sondern Grau entsteht, ist erklärlich, wenn man berücksichtigt, dass jedes Pigment, also jeder Sektor der Scheibe, nur einen Teil der im weissen Lichte vorhandenen Strahlen reflektiert, also lichtschwächer als das weisse Papier erscheint. Die Helligkeit der Scheibenfläche wird daher zwischen jener der beiden Pigmente liegen, und vom Umfangsverhältnis der Sektoren abhängen. Wäre z. B. die Helligkeit jedes der beiden farbigen Papiere halb so gross als jene einer weissen Fläche, so wird auch die Mischfarbe nur diese Helligkeit zeigen. In dieser Beziehung unterscheidet sich also die Farbenmischung am Kreisel wesentlich von der Mischung farbiger Lichter nach den S. 26 angegebenen Methoden, bei welcher eine Mischfarbe resultiert, deren Helligkeit der Summe der einzelnen Farbenhelligkeiten entspricht. Für den entstehenden Farbenton gilt aber in beiden Fällen der Satz: „Gleich aussehende Farben geben gleich aussehende Mischungen", und in beiden Fällen geht bei der Mischung Farbe verloren und Weisslichkeit tritt auf.

Ganz andere Resultate werden bei der stofflichen Mischung von Farbstoffen erhalten; die Helligkeit eines Farbstoffes wird durch Zumischung eines zweiten stets verringert; bei der Mischung geht zwar auch Farbe verloren, aber gleichzeitig tritt Schwärzlichkeit auf, und der Farbenton der Mischung hängt nicht nur vom Farbenton der einzelnen Komponenten, sondern auch von der, diese bedingende Zusammensetzung der reflektierten Strahlen, also von der Form der Absorptionsbänder, ab.

Um das Resultat einer Farbstoffmischung zu bestimmen, sind aus dem Absorptionsspektrum des einen Farbstoffes alle Strahlengattungen zu entfernen, die der andere absorbiert, die noch übrig bleibenden Strahlen bestimmen dann den Farbenton und die Nuance der

Mischung. Diesem Satz kann auch folgende Fassung gegeben werden: Das den Farbenton und die Nuance charakterisierende Absorptionsspektrum einer Mischung wird erhalten, wenn man die Absorptionsbänder der zu mischenden Farbstoffe übereinander legt.

Bei diesem Vorgange fallen entweder die Absorptionsbänder nebeneinander, und jedes bleibt unverändert erhalten, oder sie fallen stellenweise übereinander, kollidieren also gegenseitig. Dieser Unterschied ist für das Resultat der Farbenmischung von grösster Bedeutung und erfordert daher eine eingehende Betrachtung.

1. Die Absorptionsbänder kollidieren nicht. Ein solcher Fall ist in Fig. 13 schematisch dargestellt:

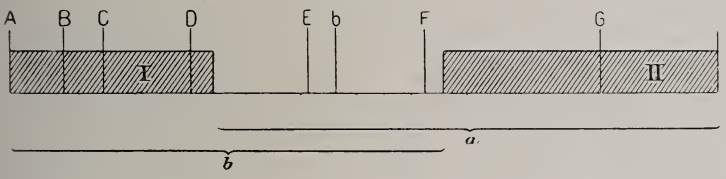


Fig. 13.

I entspricht dem Absorptionsspektrum eines blauen, *II* dem eines gelben Farbstoffes; durch Vereinigung beider erhält man das Absorptionsspektrum der Farbstoffmischung.

Denkt man sich die von den Farbstoffen *I* und *II* reflektierten Strahlen *a* und *b* vereint, so resultiert offenbar ein sehr weissliches Grün, da die Mischung alle Farben des Spektrums, die grünen aber in doppelter Menge enthält; mischt man die Farbe am Kreisel, so entsteht ein mit weisslichem Grau gemischtes Grün, weil das aus der Strahlenmischung resultierende Weiss von geringer Lichtstärke ist, also den Eindruck eines hellen Grau hervorbringt; mischt man endlich die Farbstoffe als solche, so entsteht wieder dasselbe Grün, aber ohne Zumischung von jenem Weiss, das sich aus *a* und *b* früher ergeben hat,

und wenn die reflektierten Strahlen nur einer schmalen Zone des Spektrums entsprechen, so erscheint es schwärzlich nuanciert (S. 39).

Wenn also die Absorptionsbänder zweier Farbstoffe gegenseitig nicht kollidieren, so entspricht der Farbenton ihrer Mischung jenem, der bei der Vereinigung gleicher farbiger Lichter entsteht. Gleich aussehende Farbstoffe geben gleich aussehende Mischungen, und die Resultate von Kreiselversuchen haben auch für sie Geltung.

2. Die Absorptionsbänder kollidieren. Denkt man sich das Absorptionsband *I* (Fig. 13) soweit verlängert, dass es bis an das Band *II* reicht, so giebt die Mischung der Farbenstrahlen Weiss, die Mischung der Farbstoffe am Kreisel ein zwischen Weiss und Schwarz liegendes Grau und die Substanzmischung der Farbstoffe Schwarz.

Wächst aber das Absorptionsband des Farbstoffes *I* über jenes von *II*, so giebt die Strahlen- oder Kreiselmischung violette Töne, während die Farbstoffmischung wieder nur schwarz erscheint, vorausgesetzt, dass beiden Bändern eine genügende Dichte zukommt. Sobald sich also die Absorptionsbänder bei der Farbstoffmischung übereinanderlagern, treten im Vergleich mit der Strahlenmischung wesentliche Differenzen im Farbenton auf.

Da die Spektren der Farbstoffe keineswegs so einfach gestaltet sind, wie dies oben angenommen wurde, und da weiter das im Spektroskop sichtbare Band uns über die wahren Absorptionsverhältnisse eines Farbstoffes, wie S. 46 gezeigt wurde, nur ungenügend aufklärt, so liegt es meist ausser dem Bereiche der Möglichkeit, das Resultat einer Mischung breitbandiger Pigmente von vornherein genau zu bestimmen.

In Fig. 14 ist ein solcher Fall dargestellt. *I* entspricht dem Ultramarin, *II* dem Zinnober. Da Ultramarin blau und Zinnober rot ist, so unterliegt es

keinem Zweifel, dass ihre Vereinigung am Kreisel Violett geben wird.

Bei der Substanzmischung werden die beiden Absorptionsbänder zum Teil übereinanderfallen und zu einem neuen komplizierten Bande vereint, dessen Gestalt wir nur ungefähr anzugeben vermögen. Der direkte Versuch zeigt, dass Ultramarin und Zinnober eine braune Mischung liefern.

Aus diesen Erwägungen folgt der für die Praxis wichtige Unterschied zwischen breit- und schmalbandigen Pigmenten, zwischen Teer- und Mineralfarbstoffen. Die ersteren verhalten sich bei Mischungen wie farbige Lichter und geben zuweilen ganz ungewohnte Mischeffekte, so liefern z. B. blaugrüne und rotviolette Farbstoffe ein

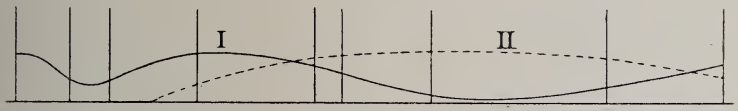


Fig. 14.

schönes Blau, und purpur und gelbe Farbstoffe mischen sich zu reinem Rot.

Es existiert aber auch ein Mittel, um ähnliche Mischeffekte bei Verwendung von breitbandigen Pigmenten, also mit den üblichen Druck- und Malerfarben, hervorzubringen, und dasselbe findet auch in der Technik vielfach Anwendung. Legt man nämlich die Farbstoffschichten nicht übereinander, sondern ordnet sie in Flächen kleiner Ausdehnung nebeneinander an, bedeckt man also die zu färbenden Körper mit kleinen, nebeneinanderliegenden Punkten oder Strichen, so können auf grössere Entfernung die einzelnen Farbenelemente nicht mehr unterschieden werden, und man erhält einen einheitlichen Gesamteindruck, der durch die Summe der reflektierten Strahlen hervorgebracht wird. Diese Mischmethode

entspricht also vollkommen der Farbstoffmischung am Kreisel, und breitrandige Pigmente mischen sich daher wie farbige Lichter.

Man macht von diesem Verfahren vielfach Gebrauch in der Textilindustrie, besonders bei der Gobelinfabrikation, dann aber auch in der Mal- und Drucktechnik. So trägt der Maler bei grobkörnigen Papieren die Farbstoffe oft derart auf, dass das hochstehende Korn und die Vertiefungen verschieden gefärbt erscheinen, und in der Ölmalerei setzt man, um solche Mischeffekte zu erzielen, die eine Farbe in kleinen Partikelchen zerstreut auf die andere. Zinnober und Ultramarin wirken dann wie Violett, Rot und Grün wie Gelb u. s. w.

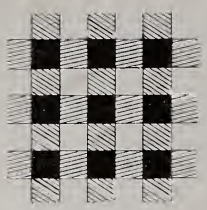


Fig. 15.

Von grösster Bedeutung ist diese Methode der Farbstoffmischung für die Technik des Farbendruckes. Wie bekannt, ersetzt man im Buch- und Steindruck, um hell gefärbte Flächen hervorzubringen, die glatten vollen Töne mit Vorliebe durch ein System zarter paralleler Linien oder eng nebeneinander liegender Punkte: durch einen Raster- und Punkt-Ton. Derartig bedruckte Flächen erscheinen bei genügender Feinheit der Linien ganz gleichmässig gefärbt.

Legt man in das Punktnetz ein zweites von anderer Farbe, jedoch derart, dass die Punkte nebeneinander fallen, so entsteht eine scheinbar gleichmässig gefärbte Fläche, deren Farbenton dem Mischungsgesetz für farbige Lichter entspricht. Zinnober und Ultramarin geben also einen violetten Farbenton.

Legt man über einen aus Linien bestehenden Ton einen zweiten von anderer Farbe derart, dass sich die Linien gegenseitig kreuzen (Fig. 15), so wird der Effekt der Strahlenmischung durch die an den Kreuzungsstellen stattfindende Farbstoffmischung um so mehr getrübt, je

breiter die Linien im Vergleiche zu ihren Zwischenräumen sind. Bildet man daher aus Rastertönen eine von Schwarz bis Weiss reichende Skala und druckt sie in zwei Farben übereinander, so entsteht bei Verwendung breitbandiger Pigmente kein einheitlicher Farbenton, weil die dunkelste Stufe die Farbe der Substanzmischung, die hellste aber jene der Strahlenmischung zeigt. Auf Beilage I ist ein solcher Zusammendruck aus Zinnober und Ultramarin ersichtlich, die Volltöne erscheinen in der Mischung braun, und mit Abnahme der Linienstärke nähert sich der Farbenton immer mehr dem reinen Purpur.

Bei der Verwendung schmalbandiger Pigmente entfallen natürlich derartige Unregelmässigkeiten, da sich diese Farbstoffe auch bei der Substanzmischung ähnlich den farbigen Lichtern verhalten.

Der Überdeckungsfehler. Bisher wurde stets angenommen, dass es gleichgültig sei, ob zwei Farbstoffe vor dem Auftragen auf Papier gemischt, oder ob sie einzeln übereinander aufgetragen werden. Diese Annahme ist nur für vollkommen transparente und nicht zu dichte Schichten zulässig. Bei den in der Praxis verwendeten Farbstoffen trifft diese Bedingung nicht zu, und aus diesem Grunde wird die oben liegende Schicht auf das Aussehen der Mischfarbe viel mehr bestimmend wirken, als das unter ihr liegende Pigment.

Bedruckt man weisses Papier erst mit einem gelben und dann mit einem roten Farbstoff, so sollte entsprechend den Farbstoffmengen vielleicht Gelborange entstehen, thatsächlich bildet sich aber Rotorange, da der gelbe Farbstoff ungenügend zur Wirkung gelangt.

Man kann den durch diesen Umstand verursachten Fehler in der Mischfarbe als „Überdeckungsfehler“ bezeichnen. Wie bekannt, verhalten sich in dieser Beziehung die verschiedenen Maler- und Druckfarben ausserordentlich verschieden, aber selbst die durchsichtigsten

Lasurfarben verhindern, sobald sie ziemlich satt aufgetragen werden, in hohem Masse die Wirkung der unter ihnen liegenden Schicht.

Durch nachstehenden Versuch wird diese Thatsache bestätigt. Ein Blatt Papier wurde zur Hälfte mit einer gleichmässigen Schicht von Chromgelb überzogen, und dann mit in Firnis geriebenem Rose bengale-Blei — einer sehr transparenten Lasurfarbe — derart überdruckt, dass einerseits ein Teil der Chromgelbschicht frei blieb und anderseits der Rotdruck auch das noch freie weisse Papier bedeckte. Ein Teil des Papieres war also nur mit Chromgelb, ein zweiter nur mit Rose bengale-Blei überzogen, und ein dritter enthielt die gleichen Schichten übereinander vereint. Aus diesem wurde eine grosse und aus dem roten und gelben Stück je eine kleine Scheibe für Kreiselversuche geschnitten.

Wird aus den beiden kleinen Scheiben der Farbenton der grossen nachgebildet, so muss die Grösse ihrer Sektoren, am Umfange gemessen, den wirksamen Quantitäten der roten und gelben Farbe im Übereinanderdruck entsprechen. Um die Farbengleichheit am Kreisel herzustellen, musste die grosse Scheibe mit einer weissen kombiniert werden.

Der Versuch ergab nachstehende Gleichung:

0,34 Chromgelb + 0,66 Rose bengale-Blei
= 0,3 Weiss + 0,7 Mischfarbe.

Die Farbe der grossen Scheibe entspricht also einer Mischung von etwa 1 Teil Chromgelb und 2 Teilen Rose bengale-Blei, statt gleichen Teilen beider Farbstoffe, wie es die Theorie gefordert hätte. Aus diesem Versuch ersieht man, wie bedeutend der durch die Überdeckung zu stande kommende Fehler selbst bei Lasurfarben ist.

Die Durchlässigkeit einer Farbstoffschicht hängt selbstverständlich von ihrer Dichte ab, und aus diesem Grunde wird die Grösse des Überdeckungsfehlers auch durch die Sättigung der Farbstoffschicht bestimmt. Bei einer satt

roten Schicht werden die auffallenden Lichtstrahlen schon in dieser reflektiert und gelangen nur zum geringen Teile zu der unteren, Gelb reflektierenden Fläche, während bei einer hellen, wenig gesättigten roten Schicht die gelbe Unterlage fast voll zur Geltung gelangt. Durch diesen Umstand werden wieder Unregelmässigkeiten im Farbenton herbeigeführt, wenn aus verschieden dichten Schichten eine Tonskala gemischt werden soll. Wird eine gelbe Skala mit einer gleich abgestuften roten überdruckt, so werden die satten Töne rotorange, die hellen aber gelborange erscheinen.

Der Überdeckungsfehler macht sich selbstverständlich bei Verwendung von drei Schichten noch viel mehr geltend, daher die unterste Farbstofflage bei etwas satteren Mischfarben kaum mehr zur Geltung gelangt.

Die Unvollkommenheit bei der Mischung übereinanderliegender Farbstoffschichten bildet eine der wesentlichsten Schwierigkeiten, die sich der Ausführung des Dreifarbendruckes entgegenstellen, sie ist Ursache, dass die drei Farben nicht genügend verschmelzen, dass solche Bilder den Eindruck der Farbenarmut machen, dass wir bei ihrer Betrachtung oft unwillkürlich die Art ihrer Entstehung empfinden. Vollkommen frei von diesem Fehler sind die aus transparenten Folien zusammengesetzten Bilder, und aus diesem Grunde bieten sie uns den Eindruck der Homogenität, nichts mahnt uns an ihre Dreiteiligkeit.

Zusammenhang zwischen der Form des Absorptionsbandes und den Nuancen des Farbstoffes. Werden von dem Farbstoffgemische komplementäre Strahlen reflektiert, so wird eine weissliche Empfindung hervorgerufen, werden solche Strahlengattungen absorbiert, so wird die Farbenempfindung verdunkelt, sie ist durch beigemischtes Schwarz getrübt. So entstehen durch verschiedene Form der Absorptionsbänder weissliche und schwärzliche Nuancen.

Reflektiert eine Farbstoffmischung lediglich komplementäre Strahlen, so entsteht die Empfindung eines reinen, mehr oder weniger dunklen Grau. Dabei ist es für das Aussehen der Mischung ganz gleichgültig, ob durch das Absorptionsband das ganze Spektrum gleichmässig, aber unvollkommen gedeckt wird, oder ob einzelne Strahlengattungen von den Pigmenten vollkommen absorbiert werden und die restierenden sich zu Weiss mischen. Aus Fig. 16 ist das Absorptionsspektrum von zwei grau erscheinenden Pigmenten ersichtlich; in *I* werden alle Strahlen des Spektrums gleichmässig abgeschwächt reflektiert, während *II* ein durch Mischung von drei schmalbandigen

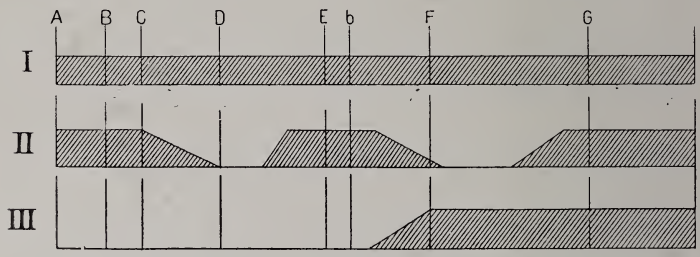


Fig. 16.

Farbstoffen gebildetes Grau darstellt, das seine neutrale Farbe nur den komplementären gelben und blauen Strahlen verdankt. Beide Grau können die vollkommen gleiche Empfindung hervorbringen, verhalten sich aber ganz verschieden bei der Mischung mit Farbstoffen. Das Grau *I* wird, mit einem gelben Pigment, dessen Absorptionsspektrum aus *III* zu ersehen ist, vereint, ein gelbliches Grau liefern, während das Grau *II* nach der Mischung den Charakter vollkommen einbüsst und in schwärzliches Orangerot umschlägt. Aus diesem Grunde erscheint es gerechtfertigt, zwischen „echtem“ und „falschem“ Grau zu unterscheiden.

Ein lichtschwaches, also schwärzliches Rot oder Orange bezeichnen wir als Braun. Wir erhalten diese Empfindung, wenn die Pigmentmischung entweder nur

die schmale Zone dieser Spektralstrahlen voll reflektiert, oder, wenn bei einem roten Farbstoff der Reflex der charakteristischen Strahlengattungen durch ein gleichmässiges Schattenband gedämpft wird. Der letztere Fall entspricht der Mischung eines roten Pigmentes mit echtem Grau.

Ebenso kann das schwärzliche Grün, das wir als „Olive“ bezeichnen, entweder durch Mischung eines grünen Farbstoffes mit echtem Grau entstehen, oder es verdankt seine Entstehung einem breiten, das ganze Spektrum, mit Ausnahme des Grün, deckenden Absorptionsbande, kann also auch durch Mischung mehrerer schmalbandiger Pigmente erhalten werden.

Die weisslichen Nuancen bezeichnen wir durch die Zusätze „hell“, „blass“ und „weiss“ vor den Namen des Farbentones, daher z. B. die Ausdrücke hellblau, blassblau und weissblau den Übergang vom gesättigten Blau zu Weiss darstellen.

Für die schwärzlichen Nuancen benutzt man die Bezeichnung „dunkel“, z. B. dunkelblau, dunkelviolett u. s. w.

In vielen Fällen werden die Nuancen mit eigenen Namen belegt, die grösstenteils entsprechend gefärbten Objekten entlehnt und in folgender Tabelle verzeichnet sind.

Farbenton	Bezeichnung für die Mischung mit Weiss	Grau	Schwarz
Purpur	Rosa	Weinrot	Braun
Rot	Blassrot Fleischrot	Kupferrot	
Orange		Chamois	Gelbbraun
Gelb	Strohgelb	Graugelb	Gelbgrau
Gelbgrün	Blassgrün	Graugrün	Olive
Grün			Theegrün
Blaugrün	Wasserblau	Blattgrün	
Blau	Himmelblau	Blaugrau	Stahlblau
Violett	Lila	Violettgrau	Dunkelviolett

Dieselbe Veränderung, welche ein Farbstoff bei der Überschichtung mit einem zweiten erfährt, tritt auch ein, wenn wir ihn mit einem gefärbten Glase bedecken, und da es gleichgültig ist, ob dieses unmittelbar auf der Farbstoffschicht aufliegt oder weiter entfernt ist, so erhalten wir auch denselben Eindruck, wenn wir durch das Glas den Farbstoff betrachten. Ein blauer Farbstoff, durch gelbes Glas gesehen, erscheint ebenso grün, wie seine Mischung mit einem gelben Pigment.

Analog einem farbigen Glase wirkt auch die Beleuchtung durch farbiges Licht, denn es ist gleichgültig, ob wir ein Objekt durch ein gelbes Glas betrachten, oder ob wir es mit den durch das gelbe Glas fallenden Strahlen beleuchten.

Die künstlichen Lichtquellen, besonders das Kerzen-, Gas- und elektrische Glühlicht sind gelblich, wenn man das Tageslicht als Weiss annimmt, ihr Spektrum endet vor Blauviolett. Bei solcher Beleuchtung erscheinen daher farbige Körper wie mit einer hellgelben Schicht überzogen, und wir können Weiss von Hellgelb, Blau von Blaugrün und Purpur von Rot nicht unterscheiden.

Das unechte Grau erscheint daher bei künstlicher Beleuchtung gelbbraun, während das echte Grau neben gleichzeitig vorhandenem Weiss farblos bleibt. Daraus erklärt sich die Erscheinung, warum transparente Dreifarbenbilder, die unechtes Grau enthalten, bei künstlicher Beleuchtung merkbar ihren Charakter ändern.

Auch das elektrische Bogenlicht, das man — da es meist mit Gas- und Kerzenflammen verglichen wird — in der Regel für bläulich hält, ist im Vergleiche mit dem Tageslicht als gelblich zu bezeichnen.

Das Licht der künstlichen Lichtquellen lässt sich weiss machen, also auf das Aussehen des Tageslichtes bringen, wenn man ihm die zu Blauviolett komplementäre

Strahlengattung entzieht, es also durch ein ebenso gefärbtes Medium fallen lässt.

D. Geometrische Darstellung der Farbstoffmischungen.

Denkt man sich in dem Punkte A und B (Fig. 17) zwei beliebige Farben, und werden auf der Verbindungslinie alle durch succesive Mischung von A mit B erzielbaren Farbentöne aufgetragen, so bezeichnet man die Gerade AB als „Mischlinie für die Farben A und B".

Wäre z. B. in A Gelb und in B Rot angebracht, so sind auf die Mischlinie AB alle zwischen Gelb und Rot liegenden Töne anzuordnen. Ein Punkt der Geraden wird

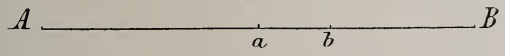


Fig. 17.

um so mehr Gelb enthalten, je näher er gegen A, und um so mehr Rot, je näher er gegen B liegt; der gleich weit von A und B entfernt liegende Punkt a entspricht daher einer Mischung aus gleichen Teilen Gelb und Rot, im Punkte b hat man sich die Mischung von 1 Teil Gelb und 3 Teilen Rot zu denken u. s. w.

Denkt man sich daher in A und B die Quantitäten der zu mischenden Farben als Gewichte angebracht, so liegt die entsprechende Mischfarbe im Schwerpunkte der so belasteten Linie, und die Quantität der in diesem Punkte vorhandenen Mischfarbe ist gleich der Summe der in A und B angenommenen Farbenmengen, also gleich der Summe der daselbst gedachten Gewichte. Diese geometrische Darstellung einer Farbenmischung gilt sowohl für Farbstoffe als auch für farbige Lichter, nur wird selbstverständlich das Mass, mit dem die Quantitäten der zu mischenden Komponenten zu messen sind, verschieden sein. Bei der Substanzmischung von Pigmenten kann

man ihr Gewicht als Mass für die Quantitäten benutzen; mischt man Pigmentfarben am Kreisel, so werden die Quantitäten durch die zur Wirksamkeit gelangenden Sektoren gemessen; bei der Mischung von Spektralfarben entspricht die Helligkeit dem Begriffe der Quantität, und da diese, unter sonst gleichen Verhältnissen, von der Breite der Kollimatorspalte abhängt, so wird die Quantität der zu mischenden Farben durch die Spaltbreite gemessen. Bei der Vereinigung von Lichtgemischen durch Spiegelung (Photochromoskop) ist für die Quantität gleichfalls die Helligkeit massgebend; variiert man diese durch das Vor-

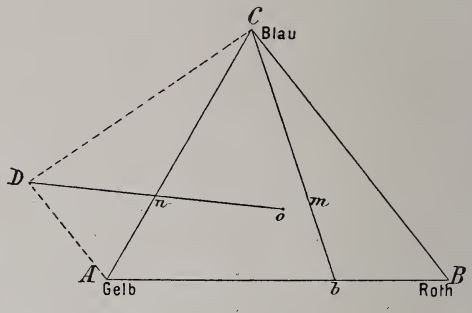


Fig. 18.

schalten verschieden transparenter Medien (photographisches Diapositiv), so entspricht die Durchlässigkeit derselben der Quantität des zu mischenden Lichtes.

Eine für Farbstoffe geltende Mischlinie wird schwärzliche Nuancen enthalten, während bei Annahme von farbigen Lichtern weissliche Nuancen vorhanden sein werden. Sind die beiden Farben komplementär, so wird eine Stelle der Mischlinie im ersteren Falle ein reines Schwarz oder Grau, im zweiten Falle ein reines Weiss enthalten.

Sollen die beiden Farben A und B mit einer dritten C kombiniert werden, so weist man dieser einen beliebigen, ausserhalb der Mischlinie AB gelegenen Platz an (Fig. 18) und betrachtet jede von C nach einem beliebigen Punkte

der Linie AB gezogene Grade wieder als Mischlinie der an ihren Endpunkten liegenden Farben. Entsprechend dieser Annahme liegen alle aus A, B und C möglichen Mischfarben innerhalb des Dreieckes ABC. Nimmt man C als blaue Farbe an, so liegen in AB, wie schon erörtert, alle Orangetöne, in AC die grünen, in CB die violetten Mischfarben, und das Innere des Dreieckes ist mit kontinuierlichen Farbenübergängen ausgefüllt, die zu stande kommen, wenn man die in jedem Eckpunkte angehäuft gedachte Farbe gleichmässig nach den beiden andern Ecken verlaufen lässt. Eine solche Fläche wird als „Mischfläche“ bezeichnet.

Entsprechend der Entstehung der Mischfläche lässt sich der einer bestimmten Mischung zukommende Ort in nachstehender Weise finden: Man denke sich jene Stellen, welche den zu mischenden Farben zukommen, mit den, ihrer Quantität entsprechenden Gewichten beschwert und bestimmt dann den Schwerpunkt dieses Systems; seine Lage bezeichnet den geometrischen Ort der Mischfarbe. Wäre z. B. 1 Teil Gelb mit 2 Teilen Rot und 1,5 Teilen Blau zu mischen, so denkt man sich in A, B und C die diesen Quantitäten entsprechenden Gewichte angebracht und sucht den Schwerpunkt der so belasteten Ebene. Betrachtet man zu diesem Zwecke zunächst nur die auf A und B ruhenden Gewichte, so liegt der Schwerpunkt in b, und man hat sich in diesem Punkte, welcher der Mischfarbe 1 Gelb + 2 Rot entspricht, ein Gewicht von drei Einheiten, resp. 3 Teile Orange zu denken. Die Linie bC ist nun in b mit drei, in C mit 1,5 Einheiten beschwert, und der Schwerpunkt der so belasteten Linie liegt in m, weil $Cm = 2\,bm$ ist.

Der Punkt m bildet also den Schwerpunkt des ganzen Gewichtssystems, und seine Lage entspricht der Mischfarbe aus 3 Teilen Orange + 1,5 Teilen Blau, somit auch jener aus 1 Teil Gelb + 2 Teilen Rot + 1,5 Teilen Blau.

Da schon die in den Dreiecksseiten liegenden Farben weniger rein als die in den Ecken gedachten Grundfarben sind, so werden die im Innern des Dreiecks liegenden Mischfarben eine weitere Abnahme der Reinheit zeigen, sie werden mit viel Weiss, resp. viel Schwarz gemischt sein. Ist eine der Farben in den Eckpunkten komplementär zu einer Mischfarbe in den Dreiecksseiten, so muss bei Verwendung farbiger Lichter in der Mischfläche ein Punkt von rein weisser Farbe vorhanden sein, während bei der Mischung von Farbstoffen dieser neutrale Punkt grau oder schwarz ist.

Hat man für drei bestimmte Farbstoffe, z. B. für Chromgelb, Eosinblei und Methylenblau-Lack ein solches Farbendreieck zu konstruieren, so könnte man folgenden Weg einschlagen: Man wählt ein Dreieck von beliebiger Form und placiert in den Ecken desselben die drei Farben, dann mischt man abgewogene Quantitäten derselben in verschiedenen Verhältnissen, sucht in der früher angegebenen Weise den jeder Mischung entsprechenden geometrischen Ort, und trägt an dieser Stelle die Mischfarbe auf. Von besonderer Wichtigkeit ist die Bestimmung des neutralen Punktes, also jener Stelle im Dreiecke, welcher ein neutrales Grau, resp. Schwarz entspricht. Man stellt aus den drei Farbstoffen eine neutral schwarze Mischung her, und ermittelt den ihr zugehörenden Punkt *o* mit Hilfe der Schwerpunkts-Konstruktion aus den hierzu notwendigen Farbstoffmengen. Hat man so die Lage einer Anzahl Mischfarben bestimmt, so kann man das Innere des Mischdreieckes durch passend gewählte Farbenübergänge ausfüllen.

Farben, die sich durch Mischung der drei Farbstoffe nicht nachahmen lassen, liegen ausserhalb des Dreieckes, und der ihnen zukommende Platz kann gleichfalls durch Mischversuche ausgemittelt werden. So fehlt z. B. im Farbendreieck „Chromgelb-Eosinblei-Methylenblau“ ein reines Grün, da das gewählte Gelb und Blau sich nur

zu schwärzlichen Grün-Nuancen mischen lässt. Es wird aber möglich sein, aus Chromgelb und Methylenblau einerseits und aus einem reinen grünen Farbstoff und Schwarz anderseits zwei gleich aussehende Mischungen herzustellen. Hätte man zu diesem Zwecke 2 Teile Gelb und 1 Teil Blau, dann 1 Teil Grün und 1 Teil Schwarz gebraucht, so ergiebt sich die Lage des neuen Grün in folgender Weise: Das aus Blau und Gelb entstehende Grün liegt in der Linie AC, und zwar im Punkte n, weil $Cn = 2\,An$ ist; das reine Grün giebt mit Schwarz gemischt dieselbe Farbe, es muss daher, wenn o der neutrale Punkt ist, in der Mischlinie on liegen, und da es mit der gleichen Menge Schwarz gemischt die Farbe n giebt, kommt ihm der Platz D zu ($on = Dn$).

Alle aus diesem Grün und aus Blau und Gelb zu erzielenden Mischfarben liegen wieder im Dreieck ADC; fügt man also dem früheren Farbensystem Gelb-Blau-Rot noch dieses Grün zu, so ergiebt sich dadurch der in dem Dreieck ADC liegende Zuwachs an grünen Mischfarben, und alle aus den vier Pigmenten zu erzielenden Mischungen liegen innerhalb des Viereckes $ABCD$.

In gleicher Weise kann man eine beliebige Zahl von ausserhalb des Dreieckes gelegenen Farbstoffen entsprechend placieren, und erhält so eine durch ein Polygon begrenzte Farbentafel, welche die Lösung zahlreicher auf Farbenmischung Bezug habender Aufgaben ermöglicht.

Sehr bequem und einfach gestaltet sich die Konstruktion einer Farbentafel mittels Kreiselversuchen. Man benutzt mit den Farbstoffen überzogene Papiere und stellt in der Seite 51 angegebenen Weise Farbengleichungen her, wobei die Grösse der wirksamen Sektoren den Quantitäten der zu mischenden Farbstoffe entspricht Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass die am Kreisel entstehende Mischfarbe nur im Farbenton, nicht aber in der Nuance, der Substanzmischung gleichkommt.

Die Farbentafel gilt auch nur für die Mischung schmalbandiger Pigmente, denn ihr liegt die Annahme zu Grunde, dass das Mischungsresultat lediglich von der Farbe der Komponenten abhängt, was bekanntlich bei breitbandigen Farbstoffen nicht der Fall ist. Eine Mischlinie zwischen Zinnober und Ultramarin würde nicht den Übergang über Purpur darstellen, sondern braunen Mischfarben entsprechen. Führt man daher solche Pigmente in die Farbentafel ein, so entspricht die ihnen zukommende Stelle nur ihrer Farbe, nicht aber ihrem Verhalten bei Substanzmischungen.

Am Umfange des Polygons sind die Farbstoffe von reinstem Aussehen angeordnet, im Innern liegt Schwarz, und jeder von diesem Punkte zum Umfange gezogenen Geraden entspricht eine Mischlinie zwischen Schwarz und der Umfangsfarbe. Beschreibt man vom neutralen Punkt eine Kreislinie, so liegen in dieser alle gleich weit von Schwarz entfernten, also gleich reinen Farben, und wenn man die hier vorhandenen Lücken durch Übergangsfarben entsprechend ausfüllt, so resultiert eine in sich zurücklaufende Farbenreihe, ein geschlossener Farbenkreis.

Die Verteilung der Töne am Farbenkreise hängt von der gewählten Form des Mischdreieckes, mit dem man die Konstruktion beginnt, ab. Bei verschiedenen Dreiecksformen bleibt zwar die Farbentafel immer richtig, es entsteht aber eine verschiedene Verteilung der Farben, sowohl am Umfange, als auch im Innern des Polygons.

Durch passende Wahl des Farbendreieckes kann man am Farbenkreise einen gleichmässigen Farbenübergang erzielen, d. h. eine solche Anordnung, dass jeder Farbenton von dem benachbarten einen für unser Auge gleichen Unterschied darbietet, und dass jedem Farbenton eine gleiche Ausdehnung zukommt. Die Farbendifferenz zweier Punkte wird dann durch den Winkel, welchen die nach diesen Punkten gezogenen Radien einschliessen, gemessen.

Bei einer solchen Anordnung müssen offenbar die vier Heringschen Grundfarben je 90 Grad voneinander abstehen.

Eine derartige kreisförmig begrenzte Farbentafel ist aus der Beilage II ersichtlich. Bei ihrer Konstruktion wurde ein etwas anderer Weg eingeschlagen. Zunächst wurden vier, den Grundfarben entsprechende Pigmente gewählt, und auf zwei, sich unter einem rechten Winkel kreuzenden Geraden placiert, die Kreuzungsstelle wurde als Schwarz betrachtet und bildet den Mittelpunkt des Farbenkreises.

Als gelbe Grundfarbe wurde Chromgelb, wie man es beim Mischen einer Lösung von einfach chromsaurem Kalium und Bleizucker erhält, gewählt. Es besitzt weder einen grünlichen noch rötlichen Stich, entspricht also der an eine Grundfarbe gestellten Bedingung. Als grüne Grundfarbe wurde Säuregrün benutzt, das, mit Gelatine in Wasser gelöst, auf Papier aufgetragen wird. Ein derartig gefärbtes Papier entspricht im Farbenton den knapp hinter *b* gegen *F* zu liegenden Spektralstrahlen und kann weder als gelb- noch als blaustichig bezeichnet werden.

Die beiden anderen Grundfarben müssen zu diesen komplementär sein, und lassen sich mit Hilfe des Farbenkreisels leicht ermitteln. Von verschieden gefärbten Papieren entsprechen das mit Ultramarin bedruckte blaue, resp. mit einer Mischung von Eosin- und Erythrosinblei überzogene rote dieser Bedingung.

Sodann wurde durch Mischung von Anilinfarbstoffen eine grosse Zahl farbiger Papiere hergestellt, die zur Ausfüllung der Räume zwischen je zwei Grundfarben benutzt wurden. Nach einigen Versuchen war es leicht, jene Farbenproben auszuwählen, die einen für das Auge gleichmässigen Übergang von einer Grundfarbe zur anderen bildeten.

Um über die Verteilung der Farbstoffe ein ungefähres Bild zu gewinnen, sind in der Beilage II einige Stellen des Farbenkreises mit der ihnen zukommenden Farbe bedruckt. Den Umfang und das Innere des Kreises hat man sich mit den entsprechenden Farbenübergängen ausgefüllt zu denken.

So liegt z. B. in der Mitte zwischen Rot und Gelb ein mittleres Orange und der Radius zwischen Orange und Schwarz ist mit den Mischungen dieser beiden Pigmente, also mit getrübter Orange übergehend in Braun und Schwarzbraun belegt zu denken.

Die Sättigung der am Kreisumfang liegenden Farben ist derart anzunehmen, dass gleiche Mengen diametral gegenüberliegender Pigmente gemischt ein farbloses Grau oder Schwarz liefern und dass bei der Mischung von je zwei Farbstoffen zu gleichen Teilen ein Farbenton resultiert, welcher in der Mitte der Farben beider Komponenten liegt.

Pigmente gleicher Reinheit stehen gleich entfernt von Schwarz und liegen daher in einem Kreis von entsprechendem Halbmesser.

Die lichtechten, breitbandigen Maler- und Druckfarben zeigen ein relativ schwärzliches Aussehen, daher sie dem Mittelpunkt Schwarz der Farbentafel entsprechend näher stehen müssen. In diese Gruppe von Farbstoffen gehören die verschiedenen gelb- und blaustichigen Krapplacke, dann das Pariserblau, von welchen Proben in der Farbentafel verzeichnet sind. Die ausgesprochen schwärzlichen Nuancen sind durch das noch näher an Schwarz liegende Braun und ein Grün vertreten.

Die äusserste Kreislinie repräsentiert den Farbenkreis von Teerfarbstoffen als transparente Gelatinefolien. Solche in der Durchsicht zu betrachtende Schichten zeigen ein ungleich reineres Aussehen, und aus diesem Grunde wurden sie entfernter von Schwarz angeordnet.

Durch Vergleich solcher Folien mit den Farben des Spektrums, in der Seite 47 angegebenen Weise, wurde dann die ihrem Farbenton entsprechende Wellenlänge ermittelt und in den Farbenkreis eingetragen. Auf Grund dieser Anhaltspunkte und mit Berücksichtigung der Annahme, dass sich komplementäre Wellenlängen diametral gegenüberstehen müssen, konnte schliesslich eine vollständige Wellenlängenskala am Kreisumfang gebildet werden. Sie reicht von 640 bis 440 μ (da noch kürzere, resp. längere Wellenlängen keine neuen Farbenempfindungen hervorbringen) und gestattet die Charakterisierung der Farben jedes beliebigen Pigmentes.

Wie aus der Farbentafel zu entnehmen ist, entspricht z. B. dem Ultramarin die Wellenlänge 463, dem Zinnober etwa 600 u. s. w., womit gesagt sein soll, dass das von diesen Pigmenten reflektierte Licht, wenn man nur den Farbenton in Betracht zieht, dieselbe Empfindung hervorbringt wie spektrales Licht von der Wellenlänge 463, resp. 600 μ.

Mit Hilfe dieser Farbentafel lassen sich nachstehende Aufgaben lösen:

1. Da jede in der Mischfläche gezogene Gerade eine Mischlinie zwischen den an ihren Endpunkten liegenden Farben ist, so kann einerseits das Resultat einer Mischung von zwei Farbstoffen bestimmt werden, und anderseits lassen sich die für eine bestimmte Mischfarbe notwendigen Bestandteile entnehmen.

Die Mischung zweier Farbstoffe wird um so schwärzlicher, je weiter dieselben im Farbenkreise voneinander abstehen. So enthält das aus Pariserblau und Chromgelb entstehende mittlere Grün, sogen. Seidengrün, etwa 75 Prozent Schwarz, denn die beiden Farbstoffe stehen etwa 150 Grad voneinander ab.

Dasselbe Grün wird daher erzielt, wenn man 1 Teil reines Grün mit 3 Teilen Schwarz mischt. In der

Beilage I ist diese Farbengleichung graphisch dargestellt, wobei die Grösse der Farbenflächen den Quantitäten der einzelnen Komponenten entspricht.

Beträgt die Entfernung zweier Farbstoffe 180 Grad, liegen sie also diametral gegeneinander, so ergänzen sie sich zu Schwarz und bei geringer Sättigung zu Grau. So ist ersichtlich, dass eine Benzopurpurin- und Echtgrünfolie, übereinander gelegt, ein fast neutrales Grau geben.

Da zwei beliebige, in einem Durchmesser gelegene Farben komplementär sein müssen, wenn sie nur beiderseits des neutralen Punktes liegen, so lassen sich von jeder Umfangsfarbe eine unendliche Zahl komplementärer Nuancenpaare ableiten. Blaugrün ist nicht nur zu Rot, sondern auch zu Braun, Gelb auch zu Stahlblau, Violett auch zu Olivgrün komplementär. Der Begriff einer Komplementärfarbe ist also ganz unbestimmt, sobald man auch die Farbennuancen berücksichtigt.

Weiter ist ersichtlich, dass man z. B. die Farbe des Pariserblau durch Mischung von Brillantgrün und Methylviolett hervorbringen kann, da es in der Mischlinie dieser Pigmente liegt, und zwar sind, entsprechend seiner Lage in der Mitte dieser Linien, etwa gleiche Teile beider Farbstoffe zu mischen.

Die Farbe des Berlinerblau kann auch aus etwa 3 Teilen Rhodaminlack und 5 Teilen Viridinlack oder durch Zusatz von einem Fünftel Indischgelb zu Methylenblau-Lack erhalten werden.

Das in der Farbentafel verzeichnete Braun ergiebt sich durch Mischen von Violettlack mit Chromgelb, aus gelblichem Rot mit Schwarz, aus Fluoresceïnblei mit Methylenblau-Lack; es entsteht auch, wenn mit Methylviolett und Pikrinsäure gefärbte Folien übereinander gelegt werden u. s. w.

Ebenso lassen sich drei oder mehr Farbstoffe wählen und ihre Mengen bestimmen, um eine Mischung von

bestimmter Farbe zu erzielen. Pariserblau kann durch Vereinigung von 7 Teilen Pfaublau, 1 Teil Chromgelb und 1,8 Teilen Rhodaminlack nachgebildet werden, und soll das oben erwähnte Seidengrün aus Gelb, Purpur und Blaugrün gemischt werden, so hat man etwa 1 Teil Chromgelb mit 1 Teil Blaugrün und $^1/_2$ Teil Nachtrosa zu vereinen.

Wie man sieht, lassen sich alle innerhalb der Farbentafel liegenden Farben in unendlich verschiedener Weise durch Mischung herstellen.

2. Verbindet man drei bestimmten Farbstoffen entsprechende Punkte, so schliesst das Dreieck alle aus diesen erzielbaren Mischfarben ein, während ausserhalb des Dreieckes liegende Farben nicht zu erhalten sind. Je grösser daher der Flächeninhalt des Dreieckes, desto grösser die Zahl der möglichen Mischfarben. Drei Farbstoffe, deren Verbindungslinien ein stumpfwinkeliges Dreieck bilden, können keine Schwarz- oder Graumischung geben u. s. w.

Zieht man von einem Farbstoff des Farbenkreises eine gerade Linie durch den neutralen Punkt, so findet man jene Stelle des Spektrums, die der „mittleren" Absorption dieses Pigmentes entspricht. So entnimmt man z. B. für den Farbstoff Nachtrosa die mittlere Absorption, sie entspricht der Stelle $D^4/_5 E$ im Spektrum.

Aus diesen Ausführungen lässt sich der hohe Wert einer solchen geometrischen Darstellung des Farben-, resp. Farbstoff-Mischungsgesetzes entnehmen. Weder der Maler, noch der in Farbenzusammenstellungen geübte Techniker vermögen Fragen, wie die eben aufgeworfenen, durch Überlegung und Erfahrung zu lösen. Ein Blick auf die Farbentafel belehrt uns über das Resultat der kompliziertesten Mischung, sie gewährt uns einen klaren Einblick in den gegenseitigen Zusammenhang der Farben und ermöglicht die Lösung aller auf Farbenmischung Bezug habender Probleme. Ein solches Problem ist auch

der Dreifarbendruck, und nur an Hand der Farbentafel ist eine rationelle Behandlung desselben möglich.

Die spektrale Mischlinie.

Streckt man den Farbenkreis in eine gerade Linie aus, so erhält man ein Farbenband, das sich — abgesehen von dem Vorhandensein der Purpurtöne — vom Spektrum dadurch unterscheidet, dass jede Farbe den gleichen Raum einnimmt und gleiche Sättigung besitzt. Der die Farben des Spektrums enthaltende Teil dieses Farbenbandes ist in Fig. 19 dargestellt. Es darf mit einem Spektrum nicht verwechselt werden, und die Fraun-

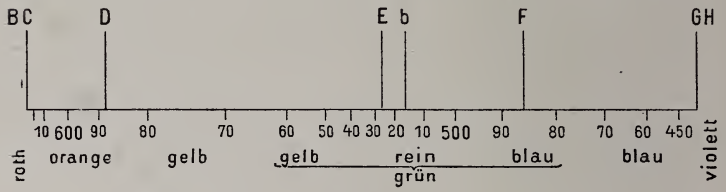


Fig. 19.

hoferschen Linien, sowie die Wellenlängenskala charakterisieren lediglich den Farbenton der betreffenden Stelle. Zieht man nur kürzere Strecken des Bandes in Betracht, so entspricht es den Eigentümlichkeiten einer Mischlinie und soll daher als „spektrale Mischlinie“ bezeichnet werden.

Mit dem Normalspektrum steht diese Farbenlinie in einem gewissen Zusammenhang: Wenn man nämlich annimmt, dass im weissen Lichte die Strahlen verschiedener Wellenlänge in gleicher Menge vorkommen, dass also gleich viel Ätherwellen von jeder Schwingungszahl vorhanden sind, so repräsentiert das Gitterspektrum eine mit Strahlen gleichsam gleichmässig belastete Linie, und diese Eigentümlichkeit zeigt auch die erwähnte Mischlinie, wenn man weiter annimmt, dass zur Bildung von

Weiss aus komplementär gefärbten Strahlen gleiche Intensitäten des Lichtes, gleiche Konzentrationen notwendig sind.

Die Sättigung der Farbe wäre bei diesen Voraussetzungen in beiden Fällen die gleiche, nur ihre Ausdehnung, daher auch ihre Quantität ist verschieden. Im Spektrum ist ein Überschuss an Grün und Blau, besonders aber an Rot vorhanden, sonst könnte bei der Vereinigung aller Spektralstrahlen nicht Weiss resultieren, und in der Mischlinie wird der Überschuss dieser Farben durch Purpur ersetzt.

Die oben gemachte, vielleicht nicht ganz zutreffende Annahme bezüglich des Zusammenhanges zwischen der Mischlinie und dem Normalspektrum gewährt den Vorteil, dass sich die Theorie der photographischen Farbenzerlegung höchst einfach, ohne Zuhilfenahme eines Experimentes entwickeln lässt.

Der Vorgang hierbei ist so klar und durchsichtig, dass sich jede diesbezügliche Frage, mag sie scheinbar noch so kompliziert sein, mit grösster Leichtigkeit beantworten lässt.

Abweichungen vom Gesetz der Pigmentmischung.

Bei der thatsächlichen Mischung von Farbstoffen beobachtet man gewisse Abweichungen von der durch die Farbentafel Beilage II ausgesprochenen Gesetzmässigkeit, die etwas näher betrachtet werden müssen.

Wie schon wiederholt erwähnt, ist das Gesetz der Strahlenmischung auf Pigmente nur anwendbar, wenn bei der Mischung der letzteren die Absorptionsbänder gegenseitig nicht kollidieren. Benutzt man aber grüne Farbstoffe zur Mischung mit Gelb oder Blau, so ist diese Forderung nicht erfüllbar, weil erstere stets ein in spektralem Blau und Gelb gelegenes Band zeigen. Das Absorptionsband des gelben und blauen Farbstoffes fällt dann auf eine im Spektrum bereits gedeckte Stelle und kommt nur ungenügend zur Geltung.

Diese Erwägungen erklären die Thatsache, dass das Aussehen eines grünen, ziemlich satten Farbstoffes durch Zumischung mässiger Mengen gelber oder blauer Pigmente kaum, oder doch nicht in dem Masse verändert wird, wie es das Mischgesetzt verlangt.

Eine weitere Unregelmässigkeit zeigt sich, wenn man Gelb oder Blaugrün durch Pigmentmischungen herzustellen versucht. Das weisse Licht enthält, wie das Spektrum zeigt, nur eine geringe Menge gelber Strahlen, und ein Körper verdankt seine gelbe Farbe weniger dieser Strahlengattung als dem stets gleichzeitig reflektierten Rot und Grün. Ein Orangepigment reflektiert aber keine grünen Strahlen und ein grünes keine roten, daher in der Mischung beide fehlen müssen und kein Gelb entstehen kann. Das Absorptionsband der Mischung liegt über den Komplementärfarben Rot und Blaugrün, daher nur ein durch Schwarz getrübtes Gelb, also Braun, entstehen kann (Seite 38).

Die gleiche Erscheinung beobachtet man bei der Mischung von grünen und blauen Farbstoffen zu Blaugrün.

Das reine Blaugrün ist eine Farbe, der man selten begegnet; die Pracht der Pfauenfeder ist ihr zu danken, und der eigentümliche Reiz, den der klare Gebirgsbach und die Gletscherspalte auf uns ausüben, ist nicht zum geringsten Teile ihrer eigentümlichen Färbung zuzuschreiben. Dieses Blaugrün kann mit einer Blau-Grünmischung niemals verwechselt werden und unterscheidet sich von dieser ebenso wie das reine Gelb von jenem gelblichbraunen Gemisch, das wir aus Orange und Gelbgrün erhalten.

Reines Blaugrün wird nämlich nur empfunden, wenn der Körper nebst diesen Strahlen auch die gesamten blauen und grünen reflektiert, und das kann bei einer Mischung, die ein grünes Pigment enhält, nicht der Fall sein.

Wie man sieht, hört also die volle Richtigkeit der Farbentafel auf, sobald Grün eine Mischkomponente bildet.

Für alle anderen Teile des Farbenkreises lassen sich Pigmente finden, bei deren Mischung die auftretende Schwärzlichkeit dem durch die Farbentafel ausgesprochenen Gesetze folgt. Allerdings begegnet man dabei einer eigentümlichen Erscheinung, welche die Richtigkeit der geometrischen Darstellung in Frage zu stellen scheint.

Mischt man z. B. gleiche Teile der 120 Grad voneinander abstehenden, in *a* und *c* gelegenen Farbstoffe (Fig. 20), so resultiert das in *d* liegende schwärzliche Grün, das sich auch durch Vereinigung der reinen Umfangsfarbe *g* mit Schwarz ergiebt. Da der Winkel $\alpha = 60$ Grad ist, so besteht die Mischfarbe *d* aus ungefähr gleichen Teilen reinem Grün und Schwarz.

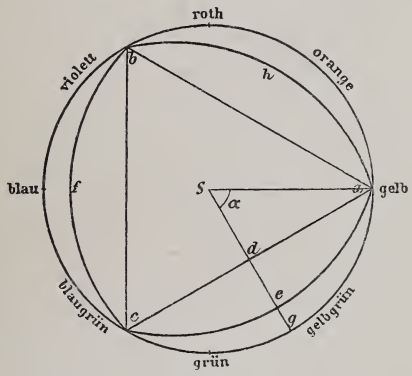


Fig. 20.

Diese Folgerung der Theorie wird aber durch die Erfahrung keineswegs bestätigt, da man aus Blaugrün und Gelb ein recht reines Grün zu mischen vermag. Wir begegnen hier einem Widerspruch zwischen Theorie und Erfahrung, der sich aber durch den Umstand aufklärt, dass der Zusatz von Schwarz zu einem reinen Farbstoff nicht proportional dem Mischungsverhältnis empfunden wird.

Die gleiche Erscheinung kann man bei Mischungen von Weiss mit Schwarz beobachten. Bei einem Zusatz von 10 bis 20 Prozent Schwarz empfinden wir kaum eine wesentliche Verdunkelung, wenn nicht ein rein weisses Objekt zum Vergleich benutzt wird; eine Kreisel-

mischung von gleichen Teilen Weiss und Schwarz erscheint uns hellgrau und keineswegs in der Mitte zwischen Weiss und Schwarz liegend, und erst eine Mischung von etwa 20 Teilen Weiss mit 80 Teilen Schwarz bezeichnen wir als „mittleres" Grau.

Ganz anders verhält sich in dieser Beziehung eine weisse Fläche, die mit einem zarten Linien- oder Punktnetz überzogen wird. Eine solche Fläche erscheint in der durch das Verhältnis „Weiss : Schwarz" bedingten Helligkeit, sie macht also z. B. den Eindruck eines mittleren Grau, wenn die schwarzen Linien gleich den weissen Zwischenräumen gewählt werden.

Offenbar handelt es sich hier um einen Unterschied zwischen objektiver Helligkeit und subjektiver Empfindung. Bei der Betrachtung der liniierten oder punktierten Fläche wird ein Teil der Netzhaut unseres Auges durch die schwarzen Elemente von der Weissempfindung ausgeschaltet, daher der Reiz der thatsächlich vorhandenen Menge Weiss entspricht, während uns die Helligkeitsunterschiede homogener Grundtöne nicht proportional ihrem Weissgehalt erscheinen.

Fechner hat bekanntlich den gesetzmässigen Zusammenhang zwischen der objektiven Helligkeit und der subjektiven Empfindung klargestellt. Durch einen Vergleich von Rastertönen mit homogenen grauen Kreiselmischungen konnte die Richtigkeit des Fechnerschen Gesetzes direkt bestätigt werden.

Zu diesem Zwecke wurde auf Papier durch verschieden starke schwarze Linien eine Skala von fünf verschiedenen Helligkeiten hergestellt, wobei die Breite der Linien zwischen 0,05 und 0,40 mm variierte und durch Messung der Linienbreite, und der Zwischenräume konnte die Helligkeit der Rastertöne ermittelt werden. Sodann wurden am Kreisel mit Hilfe einer weissen und schwarzen Papierscheibe die Helligkeiten dieser Linien-

töne nachgebildet, die Winkel der weissen Sektoren gemessen und daraus die Helligkeit des homogenen Grau gerechnet.

Die Rastertöne wurden dabei aus solcher Entfernung betrachtet, dass die Linien noch vollständig sichtbar waren; die Fläche erscheint zwar nicht homogen, bei einiger Übung und mehrmaliger Wiederholung des Versuches gelingt aber der Vergleich ohne besondere Schwierig-

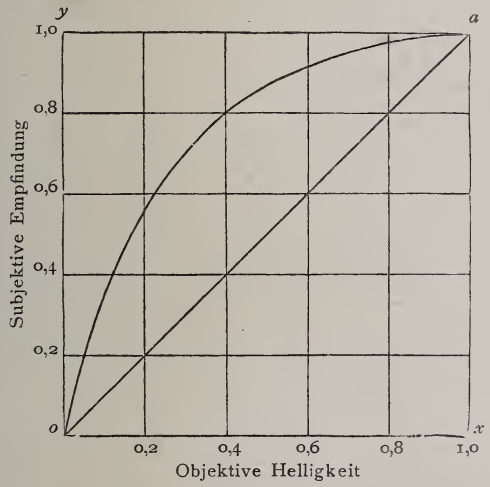


Fig. 21.

keiten. Die objektive Helligkeit des am Kreisel gebildeten Grau ist aus seiner Zusammensetzung bekannt, und aus der Rasterfläche von gleicher Helligkeit erfahren wir die subjektive Empfindung.

Das Resultat derartiger Versuche ist in Fig. 21 graphisch dargestellt. Als Abscissen sind die objektiven Helligkeiten der Kreiselmischungen und als Ordinaten die zugehörigen subjektiven Empfindungen aufgetragen. Wären subjektive und objektive Helligkeit einander gleich, so müsste für ihren Zusammenhang die Gerade *oa* resultieren, denn es müsste dann z. B. der Kreiselhelligkeit

0,5 ein Rasterton von gleichen Teilen Schwarz und Weiss entsprechen.

Die aus der Figur ersichtliche Kurve zeigt das Aussehen einer logarithmischen Linie, daher die subjektive Helligkeitsempfindung in logarithmischer Progression mit der objektiven Helligkeit wächst.

Ein Grau z. B., das aus 3,5 Teilen Weiss und 6,5 Teilen Schwarz besteht, sehen wir mehr als noch einmal so hell, als es sein sollte, und von dem Schwarzgehalt einer Mischung von gleichen Teilen Schwarz und Weiss nehmen wir nur den vierten Teil wahr.

Auf der Beilage I sind drei Grautöne mit 75,50 und 25 Prozent Schwarz ersichtlich, welche die erwähnte Eigentümlichkeit solcher Mischungen in klarer Weise zeigen.

Es ist wohl anzunehmen, dass auch bei der Mischung von Schwarz mit den Farbstoffen ähnliche Erscheinungen auftreten müssen, wobei allerdings noch zu entscheiden wäre, inwiefern das Gesetz durch die Helligkeit der Farbe beeinflusst wird.

Jedenfalls sind aber diese Verhältnisse von grösster Bedeutung für die Farbstoffmischungen, weil nur ein Teil ihres Schwarzgehaltes zur Wahrnehmung gelangt, sie also reiner erscheinen, als sie es thatsächlich sind.

Das aus gleichen Teilen Pariserblau und Chromgelb entstehende Grün enthält nach dem Farbenmischgesetz etwa $^3/_4$ Schwarz (Seite 71). Würde unsere Empfindung dem Mischungsgesetze folgen, so könnte bei Vereinigung dieser Farbstoffe nur ein grünstichiges Grau entstehen, da aber bei 75 Prozent Schwarz nicht die subjektive Helligkeit 0,25, sondern 0,64 resultiert, so tritt die Schwarzempfindung derart zurück, dass das gemischte Grün noch hinreichend rein erscheint.

Für zwei im Farbenkreise 120 Grad voneinander abstehende Pigmente liegen die Verhältnisse noch günstiger.

Der Schwarzgehalt der mittleren Mischfarbe beträgt, wie oben dargethan wurde, 52 Prozent, und sie sollte eigentlich eine zwischen der Farbe und Schwarz in der Mitte gelegene Empfindung hervorrufen. Das ist aber keineswegs der Fall, denn eine Mischung mit 52 Prozent Schwarz zeigt die subjektive Helligkeit von fast 0,9, es scheint daher, als ob sie nur mit 10 Prozent Schwarz verunreinigt wäre. Wir erhalten daher eine Grünnuance, die dem Aussehen nach nicht im Punkte *d* der Farbentafel (Fig. 20), sondern in *e*, also viel weiter entfernt von Schwarz liegt.

Bestimmt man in gleicher Weise die subjektive Reinheit aller in der Mischlinie *ac* liegenden Farben, so erhält man die Kurve *aec*, in der sie zufolge ihres Aussehens anzuordnen wären.

Die bei der Mischung von Pigmenten entstehenden Farben erscheinen uns also viel reiner als sie es thatsächlich sind, und aus den in den Punkten *a*, *b* und *c* liegenden Farbstoffen lassen sich nicht nur die innerhalb des Dreieckes *abc* befindlichen Farben erzielen, sondern alle von den Kurven *e*, *f* und *h* umschlossenen Nuancen sind durch ihre Mischung zu erhalten. Ohne diese Eigentümlichkeit unserer Empfindung wäre die Technik des Malens, sowie die Ausführung des Farbendruckes gar nicht möglich.

II. Abschnitt.

Theorie und Praxis des Dreifarbendruckes.

Sollen bei der Reproduktion eines farbigen Gegenstandes nur drei Farbstoffe zur Verwendung gelangen, so muss ihnen, wenn thunlichste Originaltreue erzielt werden soll, eine ganz bestimmte Beschaffenheit zukommen. Sie sind offenbar derart zu wählen, dass eine thunlichst grosse Zahl möglicher Mischfarben resultiert.

Erst wenn diese Wahl getroffen ist, kann an die entsprechende Zerlegung der Originalfarben auf photographischem Wege geschritten werden. Die Farbenwahl ist also ganz unabhängig vom photographischen Prozess, dagegen steht dieser im engsten Zusammenhange mit der getroffenen Wahl, denn ihm kommt die Aufgabe zu, das Original in drei monochrome Teilbilder von der Farbe der gewählten Pigmente zu spalten.

A. Die theoretische Grundlage des Dreifarbendruckes.

Die Theorie des Dreifarbendruckes gliedert sich in zwei Teile. Der erste befasst sich mit der Wahl eines passenden Farbensystems, der zweite beschäftigt sich mit der Herstellung der Negative.

a) Die Wahl der Farben.

Um mit Hilfe von drei Farbstoffen eine thunlichst grosse Zahl von Mischfarben zu erzielen, muss das der

Farbentafel eingeschriebene Mischdreieck einen möglichst grossen Flächeninhalt aufweisen; man hat also Farbstoffe zu wählen, die weit von Schwarz abstehen und deren Verbindungslinien ein gleichseitiges Dreieck ergeben.

Die erste Forderung drängt zu der Verwendung der reinen, feurigen Pigmente aus dem Kreise der Teerfarbstoffe, und um die zweite zu erfüllen, hat man drei in gleichen Abständen auf der Kreisperipherie liegende Farbstoffe zu wählen.

Die Wahl schmalbandiger Farbstoffe ist aber auch geboten, weil nur diese bei ihrer Vereinigung dem Farbenmischungsgesetz folgen und von den durch breite Absorptionsbänder bedingten, nicht vorauszusehenden Unregelmässigkeiten frei sind.

Wenn die Mischung eines roten und blauen Farbstoffes statt violett braun erscheint, was z. B. bei Zinnober und Ultramarin der Fall ist, so sind sie für den vorliegenden Zweck gewiss nicht verwendbar.

Je drei im Farbenkreise 120 Grad voneinander abstehende, schmalbandige Pigmente würden also ein für den Dreifarbendruck brauchbares Farbensystem bilden, und es wäre eine unendliche Zahl solcher theoretisch gleichwertiger Systeme möglich.

Da aber, wie Seite 76 gezeigt wurde, Gelb durch Pigmentmischung nicht hergestellt werden kann, so muss dieses eine der drei Grundfarben bilden.

Mit dieser Annahme ist auch das einzig theoretisch richtige Farbensystem vollkommen bestimmt, da sich die beiden anderen, 120 Grad von Gelb entfernten Farbstoffe mit Blaugrün und Purpur ergeben.

Das diesen Tönen entsprechende Dreieck ist in der Farbentafel (siehe Beilage II) eingezeichnet; wie ersichtlich, entspricht es den Farbstoffen: Kadmiumgelb, dann dem zwischen Rose bengale- und Erythrosin-Blei liegenden

Nachtrosa, und einem zwischen Pfaublau und Viridingrün gelegenen Farbstoff.

Ein allzu peinliches Einhalten dieser Töne ist nicht nötig, weil geringe Abweichungen im Farbenton ohne Einfluss auf den Inhalt des Farbendreieckes sind. Das Gelb muss jedoch unbedingt richtig gewählt werden und darf keineswegs rotstichig sein, da sonst neutral reines Gelb, das durch Mischung nicht zu erzielen ist, fehlen würde.

Inwiefern es möglich ist, mit diesen drei Farbstoffen alle in einem Gemälde vorhandenen Farbentöne und Nuancen wiederzugeben, lehrt gleichfalls die Farbentafel. Weder in der Natur, noch in einem Gemälde begegnen wir jenen reinen Tönen, wie sie uns in den Teerfarbstoffen zur Verfügung stehen. Der Maler verwendet nur ausnahmsweise seine reinen Farbstoffe, er arbeitet in der Regel mit gemischten, also unreinen Farben, und das Gemälde verdankt seine leuchtende Farbenpracht nicht der Verwendung greller Farbstoffe, sondern der Kontrastwirkung, die durch Nebeneinanderstellen der Farben zu stande kommt. Die üblichen Maler- und Druckfarben werden von dem kleineren Kreise, auf dessen Umfang Pariserblau und Krapplack placiert ist, eingeschlossen, und da dessen Inhalt fast ganz in das angenommene Farbendreieck fällt, so müssen, bei Berücksichtigung des Umstandes, dass uns die Mischfarben viel reiner erscheinen, als sie es thatsächlich sind, die gewälten Grundfarben für die Wiedergabe aller in einem Gemälde vorhandenen Farben vollkommen ausreichen.

Noch günstiger gestalten sich diese Verhältnisse bei transparenten Dreifarbenbildern, die durch Uebereinanderlegen gefärbter Gelatinefolien hergestellt werden, da den Farben solcher Folien der äussere Kreis entspricht (Seite 70).

Wählt man als Grundfarben für Transparentbilder: Naphtholgelb, Erythrosin und Echtgrün, so umschliesst das Farbendreieck reichlich alle Natur- und Malerfarben.

Gegenwärtig benutzt man für den Dreifarbendruck keine Teerfarbstoffe, sondern trachtet, mit lichtechten Druckfarben das Auslangen zu finden, und wählt zu diesem Zwecke meist die Farbstoffe: Chromgelb, Krapplack und Pariserblau. Dieser Kombination entspricht, wie die Farbentafel zeigt, ein kleines, bezüglich der violetten und grünen Mischfarben ungünstig gestaltetes Farbendreieck. Jeder Maler würde den Versuch, mit diesen drei Farben ein Bild zu kopieren, als undurchführbar ablehnen, denn die Erfahrung lehrt ihn, dass bei ihrer Mischung nur schmutzige Töne zu stande kommen. Und doch will man mit diesen Farbstoffen einen originaltreuen Dreifarbendruck erzwingen.

Bei der Ausführung dieses Verfahrens hat man es eben mit so vielen Fehlerquellen zu thun, dass man, wenn die einzelnen Phasen des Prozesses nicht strenge auseinandergehalten werden, nur zu leicht falsche Schlüsse zieht. So sucht man vielleicht das ungünstige Resultat infolge schlecht gewählter Grundfarben im photographischen Prozess und jagt dann ganz unerreichbaren Phantomen nach.

Im Dreifarbendruck müssen die Intensitäten der drei monochromen Drucke den Seite 70 präzisierten Einheiten entsprechen; die Farben müssen im Gleichgewichte sein, keine darf auf Kosten der anderen zurückgesetzt erscheinen. Volle rote und gelbe Töne müssen ein für unser Auge in der Mitte liegendes Orange geben, das volle Rot und Blau und das volle Gelb und Blau müssen sich zu mittlerem Violett, resp. Grün vereinen. Gleichzeitig sollen die Farbstoffschichten, übereinandergelegt, sich zu neutralem Schwarz ergänzen.

Diesen Bedingungen entsprechen nur drei im Farbenkreis symmetrisch angeordnete Pigmente, denn der Schwerpunkt des in den Ecken gleichmässig belasteten Farbendreieckes liegt dann im neutralen Punkt des Farbenkreises.

Wählt man aber, wie in Fig. 22, drei ungleich weit voneinander abstehende Pigmente B, R und G, und entspricht s dem Mittelpunkte des Farbenkreises, also der Lage von Schwarz, so erhält man bei der Mischung gleicher Teile Grundfarben statt Schwarz ein Rotbraun von der Farbe a, da bei gleicher Belastung der Punkte B, R, G der Schwerpunkt des Systems in diesem Punkte liegt.

Soll aus diesen Farben Schwarz, resp. Grau entstehen, so muss die Quantität Rot auf etwa die Hälfte restringiert werden. Man hat $1\,B + 1\,G + {}^4/_7\,R$ zu mischen.

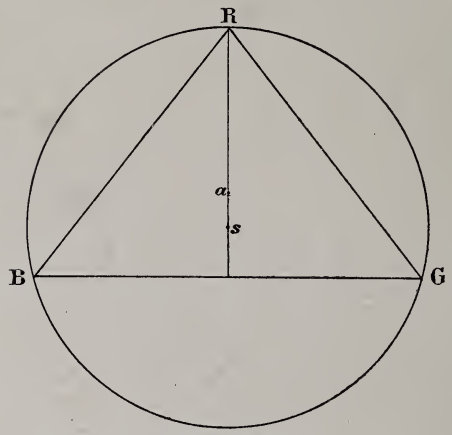


Fig. 22.

Die drei Farben $B\,R\,G$ entsprechen somit nicht den oben gestellten Bedingungen, denn reduziert man die Intensität des Rotdruckes, so entsteht zwar Grau und Schwarz an richtiger Stelle, aber im Kolorit des Dreifarbendruckes fehlt Rot, und wahrt man das Farbengleichgewicht, so muss man eine Verschiebung der schwärzlichen Nuancen in den Kauf nehmen. Statt neutralem Grau wird dann ein bräunliches Grau entstehen, und ersteres wird dort auftreten, wo grünliches Grau zu stande kommen sollte.

Derartige Erscheinungen müssen bei der Wahl von Gelb, Krapplack und Pariserblau als Druckfarben auftreten, und thatsächlich zeigen die jetzt üblichen Dreifarbendrucke beim ersten Andruck stets ein ausgesprochenes Braun an Stelle des Grau. Da man jedoch durch Ausnutzung des Überdeckungsfehlers und durch

Retouche die erwähnte Unvollkommenheit grösstenteils zu korrigieren vermag, so ist das lichtechte Farbensystem: Chromgelb-Krapplack-Pariserblau keineswegs gänzlich zu verwerfen, denn die Vorteile einer lichtechten, für den Druck sich gut eignenden Farbe sind von zu grosser Bedeutung für die Praxis.

Wir müssen uns aber klar darüber sein, welche Fehler wir mit dieser Farbenwahl in den Kauf nehmen. Und wenn das scheinbare Übermass an Rot das reine Grün und Blau verdirbt, und anderseits statt Rot nur Orange entsteht, wenn wir kein Schwarz und Grau erzielen können, ohne das Gleichgewicht aller Farbeu zu stören, wenn die Negative trotz der vorzüglichsten Filter nicht das richtige Aussehen zeigen wollen, so sollen wir den Fehler dort suchen, wo er wirklich liegt, und nicht vielleicht Ideen über eine unmögliche Farbentrennung nachjagen.

Man benutzt daher gegenwärtig zwei Grundfarbensysteme, welche die Basis für die weiteren Ausführungen bilden sollen:

a) das theoretisch richtige Dreifarbensystem: Gelb, Purpur und Blaugrün, welchem die Druckfarben Kadmium- oder helles Chromgelb, Nachtrosa und grünstichiges Pfaublau entsprechen, und

b) das lichtechte Farbensystem, repräsentiert durch die Farbstoffe: Gelb, Krapplack und Pariserblau.

Die Beilage I zeigt die beiden Farbensysteme und die beim Übereinanderdruck sich ergebenden Mischfarben.

Das theoretisch richtige System findet in der Praxis des Dreifarbendruckes keine Verwendung, da es bisher nicht gelungen ist, derartige lichtechte Farbstoffe herzustellen; es kommt aber bei der Färbung der Teilbilder für Dreifarben-Transparentbilder zur Anwendung.

Das aus der Beilage I ersichtliche Gelb und Rot entsprechen in jeder Beziehung, dem Blaugrün fehlt aber

die volle Reinheit, daher auch seine Mischung mit Gelb nicht jenes tadellose Grün giebt, wie es die Theorie fordert.

Das zweite Farbensystem zeigt jene Druckfarben, die man benutzen muss, wenn unbedingte Lichtechtheit gefordert wird. Sie geben aber nur ein schmutziges Grün und Orange, zeigen die sonstigen schon oben besprochenen Fehler und fordern daher stets eine ausgiebige Retouche der Druckplatten, wobei insbesondere die Rotplatte eine eingehende Korrektur erfahren muss.

Allerdings darf man nicht glauben, dass bei Benutzung richtiger Farben die Retouche gänzlich entfällt, denn der Überdeckungsfehler, sowie die jeder photomechanischen Druckform anhaftenden Mängel lassen eine manuelle Nachhilfe nicht entbehren.

Viel Verwirrung hat seiner Zeit das Schlagwort von der „Unreinheit“ der Pigmentfarben verursacht. So soll eine richtige Wiedergabe der Farbe durch den Dreifarbendruck nicht möglich sein, weil die Farbe der Pigmente, im Gegensatze zu den Spektralfarben, „unrein“ ist. Dabei wird der Ausdruck „Unreinheit“ bald für die Schwärzlichkeit, bald für die Gegenwart verschiedenfarbiger Strahlen im reflektierten Lichte gebraucht.

Die Schwärzlichkeit unserer Farbstoffe kann lediglich zur Folge haben, dass die im Dreifarbendruck vorhandenen Mischfarben schwärzlicher als jene im Originale erscheinen, auf die Richtigkeit der Farbe selbst, also auf den Farbenton, ist sie ganz ohne Einfluss. Der Umstand dagegen, dass z. B. das Chromgelb nebst den gelben auch rote und grüne Strahlen aussendet, ist ohne jede Bedeutung für die theoretische Möglichkeit des Dreifarbendruckes. Auch das farbige Glas lässt nur gemischtes Licht durch, und doch verhält sich dieses bei der Mischung genau so wie spektrale Lichtstrahlen, dann das durch eine gelbe Glasscheibe fallende Licht, das aus roten, gelben und grünen

Strahlen besteht, zeigt bei der Farbenmischung ganz dasselbe Verhalten, wie das spektrale Gelb.

Schliesslich mögen noch der Farbenwahl für die Bilder des Photochromoskopes und der polychromen Projektion einige Worte gewidmet werden. Bei diesen Verfahren entstehen die Bilder durch Mischung farbiger Lichter, daher man das Grundfarbensystem aus einer für solche Mischungen geltenden Farbentafel zu entnehmen hat.

Diese Farbentafel unterscheidet sich von der früheren lediglich dadurch, dass der neutrale Punkt durch Weiss gebildet wird, dass daher das Innere des Farbenkreises mit weisslichen Nuancen der Umfangsfarben ausgefüllt ist. Die Grundfarben müssen wieder je 120 Grad voneinander abstehen, daher auch in diesem Falle unendlich viele, theoretisch gleichwertige Farbensysteme möglich sind. Würde man die für den Dreifarbendruck gewählte Kombination Gelb, Purpur, Blaugrün benutzen, so würde sich ein wenig gesättigtes, sehr weissliches Blau als Mischfarbe ergeben. Blau ist aber die spezifisch dunkelste Farbe und muss satt erscheinen, Blau muss daher eine der drei Grundfarben bilden. Mit dieser Annahme ergeben sich die beiden anderen Farben: Rot und Grün. Je nach dem Farbenton des gewählten Blau entsprechen dann die Grundfarbensysteme: Ultramarinblau, Spektralrot und Gelblichgrün, oder: Violettblau, Rotorange und Reingrün. Es sind dies jene Kombinationen, die von Ives, Vidal u. a. für den in Rede stehenden Zweck verwendet werden.

b) Der photographische Prozess.

Die Wahl der für den Dreifarbendruck geeigneten Pigmente wird lediglich durch das Farbenmischungs-Gesetz bestimmt, und es ist Aufgabe der Photographie, die Negative entsprechend den gewählten Farbstoffen herzustellen.

Wenn sich der Ausführung des photographischen Prozesses, wie ihn eine bestimmte Druckfarbe verlangt, unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstellen sollte, so musste schon bei der Farbenwahl auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden.

Dieser innige Zusammenhang zwischen Druckfarbe und Herstellung des Negativs muss sich auf theoretische Erwägungen stützen und streng aufrecht erhalten werden, denn das planlose Versuchen führt selten, am wenigsten aber beim Dreifarbendruck, zu dem gewünschten Ziele.

Die Photographie hat drei Negative von solcher Beschaffenheit zu liefern, dass die mit den gewählten Farbstoffen hergestellten Kopieen, übereinandergelegt, die Farben des Originales wiedergeben. Man erzielt solche Negative dadurch, dass man bei jeder der drei Aufnahmen nur gewisse farbige Strahlen auf die photographische Platte zur Wirkung gelangen lässt, die anderen aber von der Mitwirkung bei der Erzeugung des Bildes ausschliesst.

Das für die Erzeugung der roten Kopie bestimmte Negativ, das kurz als „Rotdruck-Negativ“ bezeichnet werden soll, muss die Stellen des Originals, deren Farbe jener des gewählten roten Pigmentes entspricht, ungedeckt offen enthalten, und jene Originalfarben, welche sich durch Mischung aus Rot mit den beiden anderen Farbstoffen ergeben sollen, müssen entsprechend der notwendigen Menge Rot mehr oder weniger gedeckt erscheinen. Es ist also der vom roten Farbstoff reflektierte Strahlenanteil von der Wirkung auf die photographische Platte auszuschalten, und es haben sich nur jene Strahlen an der Erzeugung des Bildes zu beteiligen, die im reflektierten Lichte dieses Pigmentes fehlen. In diesem Lichte fehlen aber die vom Farbstoff absorbierten grünen Strahlen, daher man diese zur Bild-Erzeugung zu verwenden hat. Die photographische Platte muss daher ohne Zweifel grün-

empfindlich sein. Die gleichen Erwägungen führen zu dem Resultat, dass man für die Herstellung des Gelbdruck- und Blaudruck-Negativs Platten zu benutzen hat, welche für die komplementären Strahlengattungen der gewählten Pigmente empfindlich sind.

So unzweifelhaft richtig diese Anschauung ist, liefert sie uns doch noch keine präzise Vorschrift für die Herstellung der Negative, denn es ist fraglich, ob die bilderzeugenden grünen Strahlen nur aus einfachem grünen Licht, oder aber einem Lichtgemisch bestehen sollen, in beiden Fällen können sie zur Farbe des roten Pigmentes komplementär sein. Wollte man aus dem Absorptionsband des roten Farbstoffes auf die notwendige Sensibilisierung schliessen, so entsteht wieder die Frage, ob die photographische Platte nur für einen Teil oder für das ganze Band zu sensibilisieren ist, in beiden Fällen würde sie der Bedingung, für die reflektierten Strahlen desselben unempfindlich zu sein, entsprechen.

Wie man sieht, führen derartige Überlegungen zu keinem Ziele, und die Frage nach der Plattensensibilisierung ist ein kompliziertes Problem, das bisher noch keine theoretisch ganz einwandfreie Lösung erfahren hat.

Die nachfolgenden Ausführungen trachten diese Frage mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit zu lösen; sie sollen den Zusammenhang zwischen Druckfarbe und Plattensensibilisierung klarstellen und allgemein verwendbare Vorschriften für die Farbenzerlegung auf photographischem Wege liefern.

Jeder wiederzugebenden Farbe des Originales kommt ein bestimmtes Absorptionsband zu, welches für die Eigentümlichkeit der Farbenempfindung massgebend ist. Dieses Band ist im Dreifarbendruck durch drei den gewählten Grundfarben entsprechende Absorptionsbänder, deren

Intensität väriiert werden kann, derart zu ersetzen, dass eine gleiche Farbenempfindung resultiert. Diese Aufgabe ist mit Hilfe des Farbenmischungs-Gesetzes leicht zu lösen.

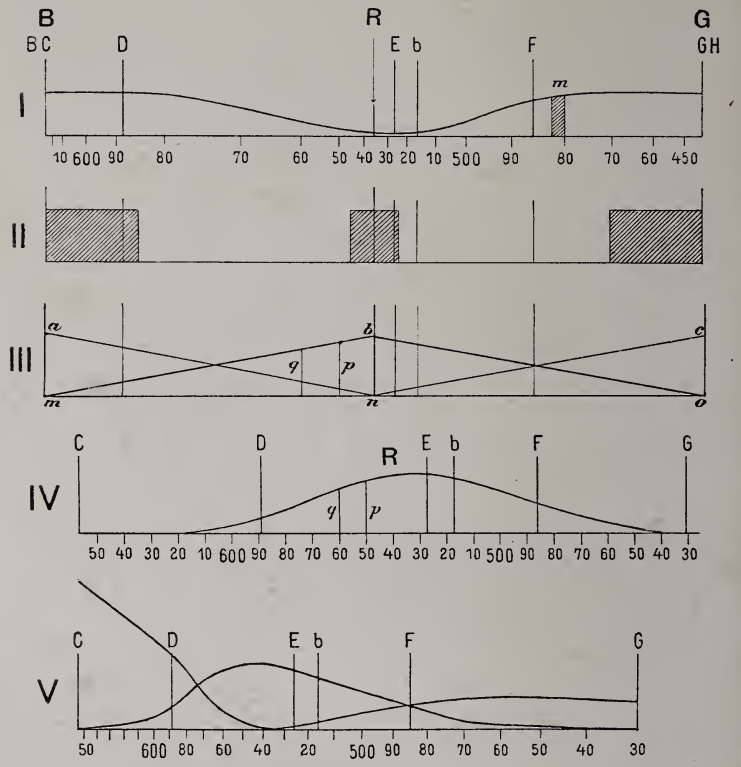


Fig. 23.

In vorstehender Fig. 23 sei I das Absorptionsband des zu kopierenden Originalfarbstoffes bei jener Verteilung der Farben, wie sie die Seite 74 besprochene spektrale Mischlinie zeigt, *B*, *R* und *G* entsprechen den mittleren Absorptionen der gewählten Grundfarben Blau, Rot und Gelb. Diese Ausdrücke werden hier, sowie auch später der Kürze wegen für die Bezeichnung der Grundfarben

benutzt, und man hat sich daher unter Blau und Rot eventuell das gewählte Blaugrün und Purpur vorzustellen.

Weiter sei bemerkt, dass ausserhalb der Fraunhoferschen Linien *C* und *G* gelegene Teile des Spektrums nicht in Betracht kommen, weil die Absorption dieser lichtschwachen Strahlen fast ohne Einfluss auf die Farbe des Körpers ist (Seite 42), und dass die in der Figur angegebenen mittleren Absorptionen nicht dem theoretisch richtigen Grundfarbensystem entsprechen, sondern derart angenommen wurden, dass sich die weiteren Erörterungen thunlichst einfach gestalten.

Pigmente, welche die Endfarben und die Mitte des Spektrums absorbieren, würden die Farben: Purpur, Grünlichgelb und Grün zeigen und ein für den Dreifarbendruck unbrauchbares System bilden.

Das Nachbilden des Originalfarbstoffes durch Mischung der drei Grundfarben entspricht einer Verteilung seines Absorptionsbandes auf die Stellen *B*, *R* und *G* des Spektrums. Um diese Aufgabe zu lösen, denke man sich dieses Band in Elementarstreifen zerlegt und die Wirkung jedes einzelnen durch Streifen auf *B*, *R* und *G* ersetzt. Das Element *m* kann durch Absorptionsstreifen auf *R* und *G* ersetzt werden, und da die Strecke *R G* als eine Mischlinie zu betrachten ist, so sind die diesen Streifen zu erteilenden Intensitäten verkehrt proportional dem Abstande des Punktes *m* von *R* und *G*. In dieser Weise lässt sich jedes zwischen *R* und *G* gelegene Bandelement zerlegen, und ebenso kann der zwischen *B* und *R* befindliche Teil des Absorptionsbandes auf diese beiden Punkte verteilt werden.

Das Resultat dieser Zerlegung ist aus II ersichtlich. Für die Intensität des in *R* anzubringenden Bandes ist also das ganze Absorptionsband des Originalfarbstoffes

massgebend, für die in G und B notwendigen Intensitäten kommen nur die in den Räumen GR und BR liegenden Teile desselben in Betracht.

Der durch das Absorptionsspektrum II charakterisierte Farbstoff, der also durch Mischung der drei Grundfarben entstanden ist, wird auf unser Auge denselben Eindruck hervorrufen, wie der Originalfarbstoff I, obwohl er sich spektroskopisch wesentlich anders verhält.

Das in I dargestellte Absorptionsband entspricht dem als „Seidengrün" bezeichneten Farbstoff, der aus einer Mischung von Pariserblau und Chromgelb besteht, und dessen Eigentümlichkeiten bereits Seite 71 und 73 besprochen wurden.

Wie aus II zu entnehmen ist, kann er in etwa 2 Teile $B + 2$ Teile $G + 1$ Teil R zerlegt, resp. durch eine Mischung dieser Komponenten ersetzt werden.

Wenn wir vorläufig annehmen, dass die Absorption in B, R und G den Grundfarben Blaugrün, Purpur und Gelb entsprechen, so kann die Zerlegung durch das in Beilage I aufgenommene Bild versinnlicht werden. Die kreisförmigen Flächen zeigen den Farbeton und die Reinheit, ihre Grösse die Quantitäten der Komponenten an.

Diese Zerlegung des Absorptionsbandes in drei über bestimmte Punkte des Spektrums liegende Teile ist auf photographischem Wege durchzuführen. Zu diesem Zwecke hat man die drei Räume des Spektrums mit photographischen Platten gleichsam abzutasten, und ihre Empfindlichkeit muss sich offenbar auf alle Strahlen eines solchen Raumes erstrecken. Mit der für das Rotdruck-Negativ bestimmten Platte ist das ganze Spektrum von B bis G abzutasten, sie muss daher für alle Spektralstrahlen empfindlich sein, und die Platte für das Negativ zur Herstellung der gelben und blauen Druckplatte muss für die Strecken R bis G, resp. R bis B sensibilisiert werden. Würde man dieser Forderung nicht

entsprechen, die Platten also nur für beschränktere Räume empfindlich machen, so würden sich Teile des zu kopierenden Absorptionsbandes der Beobachtung entziehen, was die Richtigkeit der Farbenspaltung beeinflussen müsste.

Wären z. B. die Platten nur für die nächste Umgebung der Punkte B, R und G sensibilisiert, so würde das Absorptionsband von Methylviolett, das ungefähr in der Mitte zwischen R und B liegt, von keiner Platte entdeckt werden, da sie gleichsam blind für diese Strahlengattung sind. Die Folge davon wäre, dass das schmalbandige Violett in der Reproduktion ganz fehlen würde. Aus diesen Erwägungen ergiebt sich die notwendige Ausdehnung der Sensibilisierungszonen, und es ist nun weiter das Mass der Empfindlichkeit für die verschiedenen Strahlen eines Raumes, mit anderen Worten, die Form der Sensibilisierungskurve aufzusuchen.

Da die angenommene Farbenverteilung einer Mischlinie entspricht, so ist diese Frage leicht zu beantworten: Die Empfindlichkeit der Platte für Herstellung des Rotdruck-Negativs muss offenbar von R gleichmässig gegen B und G abnehmen, und die beiden Platten, mit welchen man die Räume BR und RG abtastet, müssen von B, resp. G gegen R zu eine gleichmässig abnehmende Empfindlichkeit zeigen.

Die notwendigen Empfindlichkeitsverhältnisse der drei Platten werden somit durch die in III dargestellten geraden Linien versinnlicht: mbo entspricht der Empfindlichkeitskurve für die grünempfindliche, an jener für die rotempfindliche und nc jener für die blauempfindliche Platte. Entsprechend dieser geforderten Farbenempfindlichkeit sind die drei photographischen Platten zu sensibilisieren.

Damit wäre der gesuchte Zusammenhang zwischen den gewählten Grundfarben und der Plattensensibilisierung

klargestellt und kann in folgender Form ausgesprochen werden: Die photographischen Platten, welche für die Herstellung der drei Negative bestimmt sind, müssen derart sensibilisiert werden, dass ihr Maximum auf der spektralen Mischlinie der mittleren Absorption der gewählten Grundfarbe entspricht und ihre Empfindlichkeit sich bis zur mittleren Absorption der nächstliegenden Grundfarben erstreckt; die Empfindlichkeits-, resp. Sensibilisierungskurven bilden gerade Linien.

Um die Kurven für das Normalspektrum zu erhalten, hat man wegen des Seite 74 angenommenen Zusammenhanges zwischen den beiden Farbenlinien, die für die verschiedenen Wellenlängen geforderten Farbenempfindlichkeiten in die Skala des Normalspektrums IV zu übertragen. Die Intensitäten *bn*, *p*, *q* u. s. w. sind daher auf die korrespondierenden Skalenteile aufzutragen, wodurch man die für das Normalspektrum geltende Kurve *R* erhält.

Die Sensibilisierungskurve für das prismatische Spektrum ergiebt sich schliesslich in der Seite 21 angegebenen Weise, wodurch man zu dem Diagramm V gelangt.

Gestützt auf diese allgemein gültigen Erörterungen, soll nun an die Bestimmung der Sensibilisierungskurven für die auf Seite 88 aufgestellten Grundfarbensysteme geschritten werden.

1. Sensibilisierungskurven für das theoretisch richtige Farbensystem: Gelb, Blaugrün, Purpur. Wie aus der Farbentafel zu entnehmen ist, kommen diesen Farbstoffen die nachstehenden mittleren Absorptionen zu:

Gelb 455 μ $F^1/_2$ G im prismatischen Spektrum,
Blaugrün 595 μ Gelblichrot vor der D-Linie und
Purpur 530 μ, knapp vor der E-Linie.

Die Platten sind also derart zu sensibilisieren, dass diesen Stellen des Spektrums, welche in beistehender

Fig. 24, I, mit b, r und g bezeichnet sind, ein Empfindlichkeitsmaximum entspricht.

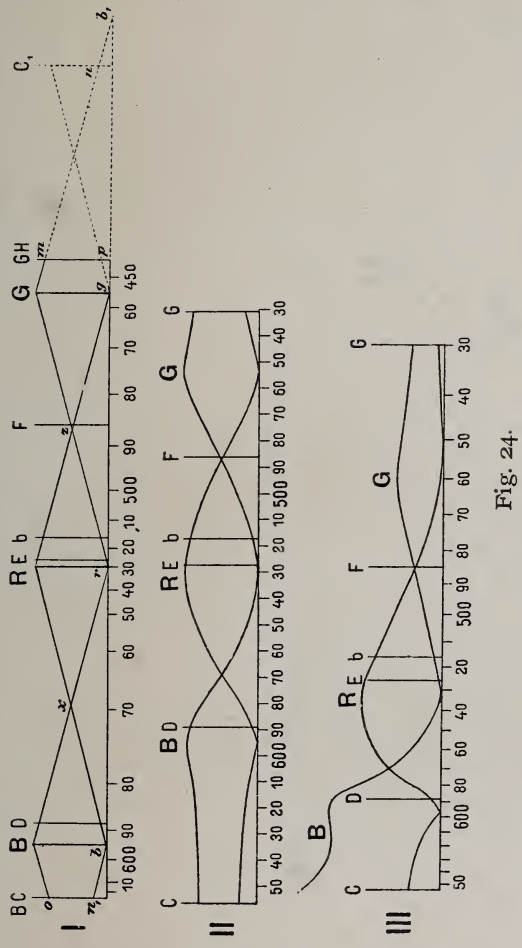


Fig. 24.

In der spektralen Mischlinie liegt r in der Mitte zwischen b und g, da die Farbentöne einem gleichseitigen Mischdreieck angehören.

Die Platte zur Herstellung des Rotdruck-Negatives ist für den Raum bg zu sensibilisieren, und zwar derart, dass ihre Empfindlichkeit gegen b und g entsprechend

dem Verlaufe der Geraden Rb und Rg abnimmt. Um die notwendige Sensibilisierung für die Gelbdruckplatte zu erhalten, hat man in g das Empfindlichkeitsmaximum gG aufzutragen und den Punkt G mit den der mittleren Absorption der beiden anderen Farben entsprechenden Punkten, also r und b, zu verbinden. So ergiebt sich für die abnehmende Sensibilisierung gegen Grün die Gerade Gr; um die Sensibilisierungslinie gegen b zu bestimmen, ist die Mischlinie über Violett gegen Rot so weit fortzusetzen, bis man wieder zum Farbenton b gelangt. In der Figur ist diese Verlängerung über die G-Linie des Spektrums punktiert angedeutet, und bb_1 oder CC_1 entspricht der ganzen aufgerollten Farbenkreislinie. Die Gerade Gb_1 repräsentiert dann den zweiten Teil der Empfindlichkeitskurve für die Platte, die zur Erzeugung des Gelbdruck-Negatives dient. Vor dieser Geraden liegt aber nur das Stück Gm im blauvioletten Teile des Spektrums, das Stück nb_1 gehört dem spektralen Rot an, und die Strecke mn fehlt im Spektrum. Die Platte ist daher nicht nur für Blaugrün und Blau, sondern auch — allerdings in geringem Masse — für Rotorange zu sensibilisieren; ihre Empfindlichkeitsverhältnisse werden durch die geraden Linien rGm und n_1b charakterisiert.

In ganz gleicher Weise ergeben sich die der photographischen Blaudruck-Platte zu erteilenden Farbenempfindlichkeiten durch die Geraden rBo und gp, daher diese Plattte auch eine Spur Blauviolett-Empfindlichkeit besitzen soll.

Da die Strecke bb_1 von den drei Seiten eines regulären Mischdreieckes gebildet wird, so muss der dem Schnittpunkte x entsprechende Farbenton gleich jenem des gelben, und der dem Punkt z entsprechende Farbenton gleich jenem der blauen Druckfarbe sein.

Überträgt man den Verlauf der Sensibilisierungs-Geraden auf das normale Spektrum in der früher

angegebenen Weise, so erhält man die aus Fig. 24, II, ersichtlichen Empfindlichkeitskurven B, R und G, welche nach ihrer Transformation für das Prismenspektrum die in III dargestellten Kurven ergeben. Diesen haben die Platten bei ihrer spektroskopischen Prüfung zu entsprechen.

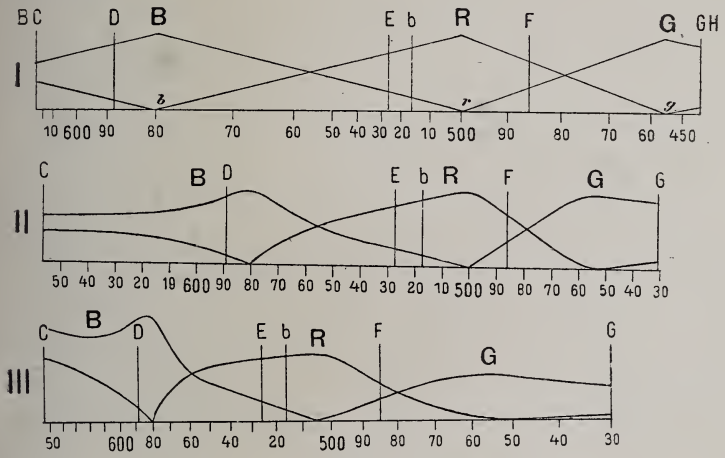


Fig. 25.

2. Sensibilisierungskurven für das lichtechte Farbensystem: Gelb, Krapplack und Pariserblau. Die mittleren Absorptionen der diesen Farbstoffen entsprechenden Töne liegen, wie aus der Farbentafel zu entnehmen ist,

für Pariserblau bei 580 µ, also knapp neben der D-Linie,
Krapplack 505 µ, d. i. $E^1/_2 F$, und
Gelb 455 µ, d. i. $F^1/_2 G$.

Die Punkte b, r und g (Fig. 25) der spektralen Mischlinie bestimmen daher die Maximalempfindlichkeit der drei Platten, und der Verlauf der Sensibilisierung hat den in der Figur gezogenen geraden Linien zu folgen. Überträgt man diese auf das normale und dann auf

das prismatische Spektrum, so ergeben sich die Sensibilisierungskurven II und III, welchen das spektroskopische Verhalten der Platten anzupassen ist.

Die Empfindlichkeitszone der für den Dreifarbendruck zu verwendenden photographischen Platten erstreckt sich daher stets auf einen sehr bedeutenden Teil des Spektrums. Die Sensibilisierung jeder der drei Platten wird durch alle drei Pigmente beeinflusst, sie ist daher nicht nur einem Farbstoff, sondern dem ganzen Farbensystem anzupassen. Ändert man eine Farbe desselben, so bedingt dies eine Veränderung der Empfindlichkeitszonen aller drei Platten. Wäre die Sensibilisierung nur von jenem Farbstoff abhängig, für welchen das Negativ bestimmt ist, so würden z. B. dem Krapplack und Chromgelb stets gleichbleibende Sensibilisierungen zukommen, und es müssten, wenn man als dritte Farbe einmal Berlinerblau, ein andermal Blaugrün wählt, dieselben Mischfarben resultieren, was offenbar nicht möglich ist.

Um die geforderten breiten Sensibilisierungsbänder zu erzielen, wird man in der Regel gemischte Farbensensibilisatoren verwenden müssen, und ihre Wirkungszone wird durch vorgeschaltete Lichtfilter zu korrigieren sein. Nur auf Grund spektrographischer Aufnahmen kann eine passende Plattenpräparation gefunden werden. Man wählt Mischungen von voraussichtlich brauchbaren Farbstoffen als Sensibilisatoren, variiert ihr Verhältnis und korrigiert ihre Wirkungen so lange, bis die Spektrumphotographie ein Sensibilisierungsband zeigt, das den oben gefundenen Kurven entspricht.

Dieser Vorgang ist aber keineswegs so einfach und sicher, als meist angenommen wird, denn die Wirksamkeit der Sensibilisierung und der Filter, also die Ausdehnung des spektralen Bandes auf der Platte ist wesentlich von der Expositionsdauer abhängig. Bei kurzer Be-

lichtung erhält man ein viel kürzeres Band als bei langer Exposition, und da die Lichtverhältnisse im Spektrographen und in der Kamera sehr verschieden sind, so ist es kaum möglich, aus dem spektroskopischen Verhalten einer Platte auf ihre volle Brauchbarkeit für die Farbenspaltung zu schliessen.

Es empfiehlt sich daher, die photographische Aufnahme von bestimmten Farbstoffen für die Kontrolle der Plattensensibilisierung und Strahlenfilter zu benutzen. Photographiert man die drei als Grundfarben gewählten Pigmente, so müssten eigentlich auf jede der drei Platten zwei dieser Farben wie Weiss, die dritte wie Schwarz wirken. Dieses Resultat kann aber nur erhofft werden, wenn die Farben von durchaus gleicher, tadelloser Reinheit sind, was in der Regel besonders bei den blauen Farbstoffen nicht der Fall sein wird.

Besser sind für den gedachten Zweck die den Grundfarben komplementären Pigmente geeignet, welchen die halbe Wirksamkeit der Grundfarben auf jede der photographischen Platten zukommen muss. Solche Farbstoffe können der Farbentafel entnommen, eventuell durch Kreiselversuche ermittelt werden.

Der gelben Druckfarbe ist z. B. ein rotstichiges Blau, von der Färbung einer nicht zu verdünnten Cyaninlösung, komplementär, daher ein solches Pigment im Rot- und Blaunegativ gleich und halb so gedeckt wie Weiss abgebildet werden muss.

Ebenso soll gelblicher Zinnober, die Komplementärfarbe des Blaugrün, auf die photographischen Platten, welche zur Herstellung des Rot-, resp. Gelbdruckes benutzt werden, gleich stark und halb so kräftig wie Weiss wirken. Das gleiche Verhalten muss ein, der gewählten Purpur-Druckfarbe komplementäres Grün bezüglich des Blau- und Gelbdruck-Negatives aufweisen.

Die Wirksamkeit der, die Plattensensibilisierung kontrollierenden Pigmente ist zwar auch von ihrer Reinheit und Sättigung abhängig, für ihr Verhalten auf je zwei verschiedene Platten sind aber diese Umstände ohne Einfluss. Jedes Blau von dem angegebenen Farbenton, mag es mit Weiss oder Schwarz gemischt sein, muss im Rot- oder Blaunegativ gleich gedeckt erscheinen, denn im Zusammendruck muss es aus gleichen Mengen der beiden Grundfarben entstehen, und die eventuell schwärzliche Nuance wird erst durch die Zumischung des komplementären Gelb hervorgebracht.

Die Natur der zur Kontrolle benutzten Pigmente ist ganz gleichgültig, man kann Teerfarbstoffe oder Firnis-Druckfarben verwenden, wenn sie nur den gewünschten Farbenton zeigen.

Ihr Verhalten kontrolliert weniger das Maximum als die Äste der Sensibilisierungskurven, was insofern wertvoll ist, als die Lage des ersteren aus der spektrographischen Aufnahme mit Sicherheit erkannt werden kann.

In ähnlicher Weise lassen sich die Kontrollfarben für ein anderes Grundfarbensystem, z. B. für die Druckfarben Pariserblau, Krapplack und Gelb ermitteln.

An Stelle dieser Kontrollfarben ist auch eine Zusammenstellung anderer, möglichst verschiedener Farben verwendbar, wenn man ihr Verhalten bei der richtigen Farbenspaltung ermittelt hat. Man kann dann aus der Wirksamkeit einzelner Farben auf die Beschaffenheit der Filter schliessen und die notwendigen Korrekturen vornehmen. Eine solche Farbenzusammenstellung enthält die Probetafel Beilage I, die später noch besprochen werden soll.

c) Theorie von Ives.

Die von Ives in seinem Patent vom 7. Februar 1890 aufgestellte Theorie über die zusammengesetzte Heliochromie geht von der Young-Helmholtzschen Hypo-

these der Farbenempfindung aus, welche in ihren Grundzügen auf Seite 29 besprochen wurde.

Ives trachtet, den Teilbildern im Photochromoskop jene Färbung zu erteilen, die den als primär angenommenen Farbenempfindungen entspricht, und wählt bei der photographischen Aufnahme Platten, deren Sensibilisierung den Kurven der oben erwähnten Diagramme angepasst ist.

Sollen die Negative für den Dreifarbendruck dienen, so fordert Ives als Druckfarben Pigmente, die je eine der drei Fundamentalempfindungen thunlichst vollkommen ausschalten, also komplementär zu den angenommenen Grundempfindungen sind.

Das Negativ, welches die Rotempfindung repräsentiert, ist daher auf einer photographischen Platte entstanden, die entsprechend der Grünkurve des Diagramms sensibilisiert war, und ist mit einem, nur das primäre Grün absorbierenden Farbstoff zu drucken. Die photographische Platte war daher für alle Strahlen des Spektrums empfindlich, besonders aber für die grünen, und der Farbstoff ist ein schmalbandiges Pigment, das lediglich die grünen Strahlen absorbiert.

Man gelangt also wieder zu dem früher aufgestellten Zusammenhang zwischen Sensibilisierung und Druckfarbe, und wenn Ives eine solche Relation überhaupt leugnet, so ist dies nur damit zu erklären, dass Ives nur ein Grundfarbensystem anerkennt und die Youngsche Farbenwahl zu einem Axiom erhebt. Nimmt man diesen Standpunkt ein, so hat man allerdings bei der Herstellung der Negative die Grundfarben nicht mehr zu berücksichtigen, denn diese wurden schon von Young gewählt, und die ihnen entsprechenden Mischungskurven wurden von Maxwell oder Helmholtz aufgestellt.

Die Youngschen Farben gehören jedoch keinem theoretisch richtigen Grundfarbensystem im Sinne der

Dreifarbenphotographie an (Seite 93) und die von Ives[1]) für den Dreifarbendruck gewählten Pigmente: Berlinerblau, Eosin- oder Rhodaminrot und Gelb stehen, wie ein Blick auf die Farbentafel, Beilage II, lehrt, mit diesen Farben in keinem Zusammenhange.

Es müsste vielmehr Grün, grünstichiges Gelb und Purpur gewählt werden. Für dieses Grundfarbensystem bilden dann die erwähnten Diagramme allerdings eine richtige Basis, doch könne es aus leicht begreiflichen Gründen nicht zur Verwendung kommen.

Die von Ives, in der erwähnten Patent-Spezifikation angegebenen Kurven[2]) sind den Mischversuchen von Maxwell entnommen, wobei drei Spektralfarben als Grundfarben angenommen wurden. Sie unterscheiden sich wesentlich von jenen, die Helmholtz[3]) auf Grund seiner Mischversuche mit spektralen Lichtern aufgestellt hat. Helmholtz geht von idealen, nicht existierenden überaus satten Urfarben aus und wollte man seinem Diagramme folgen, so müsste z. B. das Grün im Photochromoskop einen sehr bedeutenden Zusatz von Rot und Blau erhalten, und das Gelb im Dreifarbendruck dürfte nicht aus dem gelben Pigment allein bestehen, sondern müsste einen Zusatz von Blau und Rot erhalten. Im Photochromoskop würden dann nur sehr weissliche, im Dreifarbendruck aber nur schwärzliche Nuancen zu stande kommen. Um im Photochromoskop wenigstens einzelne Teile des Bildes genügend farbenreich, im Dreifarbendruck aber genügend rein zu erhalten, muss der ganze Inhalt des Farbendreieckes ausgenutzt werden, was bei den von Maxwell aufgestellten Diagrammen der Fall ist. Wenn es auch keinem Zweifel unterliegt, dass die

---

1) Photographische Korrespondenz 1894, S. 400.
2) Eders Jahrbuch für 1891, S. 175.
3) Helmholtz, Physiol. Optik, S. 358.

Sensibilisierungskurven am sichersten aus Mischversuchen mit spektralen Lichtern abzuleiten sind, so ist dieser Weg dem Praktiker doch verschlossen, während das vom Verfasser angegebene Näherungsverfahren, ohne Zuhilfenahme irgend eines Experimentes, eine rasche Orientierung über alle Fragen des Dreifarbendruckes gestattet.

d) Sensibilisierungstheorie von Dr. H. W. Vogel.

Dr. H. W. Vogel, der durch Entdeckung der Farbensensibilisatoren die Ausführbarkeit des Dreifarbendruckes möglich machte, war auch der Erste, der den Zusammenhang zwischen Plattensensibilisierung und Druckfarbe erkannte, indem er im Jahre 1885 den Satz aufstellte: Der für die Plattensensibilisierung benutzte Farbstoff ist auch als Druckfarbe zu benutzen, und wenn er für diesen Zweck nicht brauchbar sein sollte, so ist ein Pigment von gleicher spektroskopischer Beschaffenheit zu wählen.

Bei der Anwendung dieses Satzes ist zu beachten, dass er bezüglich der Grundfarben keinerlei Entscheidung trifft, dass also diese in der früher angegebenen Art zu wählen sind. Wenn Dr. H. W. Vogel als Beispiel die Farbstoffe Cyanin, Eosin und ein gelbes Pigment anführt, so ist damit nicht gemeint, dass diese ein praktisch brauchbares Grundfarbensystem bilden, da doch aus Cyanin und Gelb niemals Grün entstehen kann. Trotzdem wurde der Vogelsche Satz oft in diesem Sinne ausgelegt und dann als irrtümlich bezeichnet. Er kann erst nach der Farbenwahl zur Anwendung gebracht werden und bildet dann — bei entsprechender Ergänzung — wegen seiner präzisen, auch dem Laien leicht verständlichen Fassung, einen wertvollen Wegweiser durch das schwierige Gebiet des photographischen Dreifarbendruckes.

Die oben ausgeführten Entwicklungen haben zu dem Schluss geführt, dass das Maximum der Plattenempfindlichkeit der mittleren Absorption der Druckfarbe zu entsprechen hat; da nun ein Farbstoff stets für jene Strahlengattungen sensibilisiert, die er absorbiert, so würde die Identität im Aussehen beider Farben vollkommen zutreffen, wenn das Sensibilisierungsmaximum auch für den Farbenton charakteristisch wäre. Da dies aber nicht der Fall ist, und da weiter auch das photographische Wirkungsband aus verschiedenen, später zu erörternden Gründen eine Verschiebung vom Absorptionsmaximum erleidet, so treten gewisse Abweichungen im Tone der beiden Pigmente auf. Auch muss gefordert werden, dass das Sensibilisierungsband eine bestimmte Form zeigt und sich über eine gewisse breite Zone des Spektrums erstreckt, was oft die Verwendung gemischter Sensibilisatoren und Korrektionen durch Lichtfilter nötig macht.

Die Vogelsche Theorie ist somit weder theoretisch streng richtig, noch von praktischem Wert und charakterisiert aber in leichtverständlicher Form den Zusammenhang zwischen Druckfarbe und Plattensensibilisierung.

e) Zusammenhang zwischen Druckfarbe und Lichtfilter.

Der scheinbar innige Zusammenhang zwischen der Druckfarbe und dem bei der Aufnahme benutzten Lichtfilter wurde vielfach zum leitenden Grundsatz im Dreifarbendruck erhoben, und Cros und Ducos du Hauron sind bei ihren Versuchen lediglich von diesem Prinzip ausgegangen. Bei der photographischen Aufnahme wurde ein grünes, resp. ein blaues und gelbes Glas vor das Objektiv geschaltet, und die so erzielten Negative wurden mit den Komplementärfarben Rot, Gelb und Blau übereinander gedruckt.

Auch in neuerer Zeit wurde dieser Grundsatz für die Wahl der Lichtfilter empfohlen, und Hazura und Hruza[1]) haben zahlreiche Versuche durchgeführt, um für gegebene Druckfarben die zugehörigen komplementären Strahlenfilter aufzufinden.

Der Ausdruck „komplementär" bezieht sich gewöhnlich nur auf den Farbenton zweier Pigmente, für die spektrale Zusammensetzung der von ihnen reflektierten Lichter liefert das „Komplementärsein" nur sehr allgemeine Anhaltspunkte. So lassen sich zu einem gegebenen Rot mittels Kreiselversuchen leicht mehrere Grün von verschiedenem spektralen Verhalten auffinden; so ein grünes Pigment, das lediglich die roten Strahlen absorbiert, und ein zweites, das nur die grüne Zone des Spektrums reflektiert. Beiden Grün ist derselbe Farbenton eigentümlich, sie sind zum Rot komplementär, als Strahlenfilter verwendet, müssen sie aber ganz verschiedene Resultate liefern.

Die Nuance spielt eben bei Komplementärfarben gar keine Rolle; ein bestimmtes Grün ist nicht nur zu einem bestimmten Rot, sondern auch zu seinen Mischungen mit Schwarz — also auch zu Braun — komplementär, und Rot liefert nicht nur mit dem reinen Grün, sondern auch mit Oliv farblose Kreiselmischungen (siehe Seite 72).

Die Forderung, das Lichtfilter komplementär der Druckfarbe zu wählen, kann vielleicht einmal zutreffen, ein anderes Mal aber falsch sein.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, sobald man an komplementäre Farben nicht nur die Bedingung einer farblosen Kreiselmischung stellt, sondern auch eine Ergänzung ihres spektralen Verhaltens fordert. Zu einem gegebenen roten Pigment, welches nur die grüne Zone des Spektrums verschluckt, wäre dann jenes Grün kom-

---

1) Photographische Korrespondenz 1893, S. 374.

plementär, das alle Spektralstrahlen mit Ausnahme dieser grünen absorbiert. Man könnte solche Pigmente als „spektroskopische Gegenfarben“ bezeichnen. Dem Absorptionsband der Druckfarbe entspricht dann die Öffnung im Bande des Filters. Solche Gegenfarben können nur auf spektroskopischem Wege ermittelt werden, und diesen haben auch Hazura und Hruza einzuschlagen versucht, um für verschiedene Druckfarben die zugehörigen Filter zu bestimmen. Der Ermittelung solcher Filter stellen sich aber geradezu unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen.

Es ist selbstverständlich, dass die gewählten Grundfarben einem brauchbaren Farbensystem angehören, und dass die zur Verwendung gelangenden photographischen Platten für alle Spektralfarben gleichmässig empfindlich sein müssen. Die letztere Bedingung ist nur ausnahmsweise für einen Teil des Spektrums zu erzielen. Wäre in Fig. 26 I das Absorptionsband der Druckfarbe, so ist II das zugehörige Lichtfilter, und ist die Platte für alle Strahlen von $D\,{}^1/_2\,E$ bis über F gleichmässig empfindlich, so resultiert derselbe Effekt, als wenn die Platte für die, dem Farbstoff I entsprechende Absorptionskurve sensibilisiert und ohne Filter zur Exposition gekommen wäre.

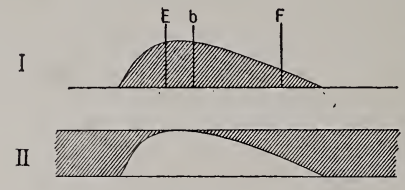


Fig. 26.

Der Grundsatz, dass das Filter spektroskopisch komplementär zur Druckfarbe gewählt werden soll, deckt sich daher mit dem Vogelschen Prinzip: Druck- und Sensibilisierungsfarbe sollen spektroskopisch gleich sein. Beide Forderungen sind bedingt richtig, da aber erstere in der Praxis kaum durchführbar ist, hat Dr. H. W. Vogel die scheinbar leichter zu erfüllende Bedingung gestellt.

B. Plattensensibilisierung und Lichtfilter.

Sobald man sich für ein Grundfarbensystem entschieden hat und die zugehörigen Sensibilisierungskurven aufgestellt sind, kann an die Sensibilisierung der Platten geschritten werden. Man wählt aus der Reihe der für diesen Zweck geeigneten Farbstoffe die voraussichtlich passenden Glieder, ermittelt ihr spektroskopisches Verhalten und korrigiert dasselbe durch Vorschalten entsprechender Filter. Bevor auf die Vorschriften für die Plattenpräparation eingegangen wird, erscheint es geboten, zunächst die Wirkung der praktisch brauchbaren Farbensensibilisatoren, sowie die Eigentümlichkeiten einiger für Lichtfilter besonders geeigneter Farbstoffe einer Erörterung zu unterziehen.

a) Die Sensibilisierung photographischer Platten für farbige Lichtstrahlen.

Die gewöhnliche photographische Platte bezeichnet man als blauempfindlich, da sie bei mässig langer Exposition lediglich durch die blauen und violetten Spektralstrahlen eine nach dem Entwickeln sichtbare Veränderung erfährt. Verlängert man aber die Expositionszeit, so gelangen auch die grünen, dann die gelben und endlich selbst die roten Strahlen zur Wirksamkeit. Die Photographie des Spektrums reicht daher bei kurzer Exposition etwa bis zur Linie *F*, bei langer Belichtung verlängert sich das photographische Wirkungsband besonders bei der Gelatineplatte gegen das rote Ende.

Die Empfindlichkeitsverhältnisse der photographischen Bromsilberschicht im prismatischen Spektrum sind aus den Kurven I und II (Fig. 27) zu entnehmen. I entspricht der Gelatineplatte, II der Kollodiumplatte; wie man sieht, ist erstere hauptsächlich für die zwischen *G* und *H* gelegenen blauen, letztere für die violetten Strahlen des Spektrums empfindlich. Transformiert man die Kurven für das Normalspektrum, so ergeben sich

die aus Fig. 28 ersichtlichen Empfindlichkeiten. Die kräftigste Wirkung kommt also bei beiden Platten dem spektralen Violett zu, die Gelatineplatte besitzt aber eine höhere Blauempfindlichkeit als die Kollodiumemulsion. Bei kurzer Belichtung ist in der Praxis dieser Unterschied kaum wahrnehmbar, mit zunehmender Exposition

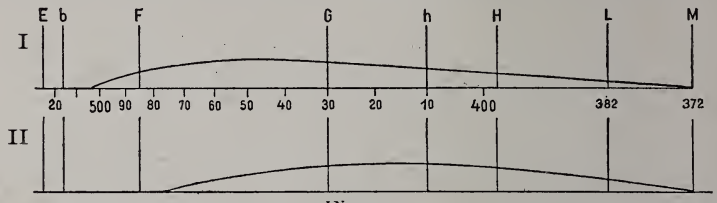


Fig. 27.

aber verlängert sich die Wirkungszone der Gelatineplatte gegen *E*, und es tritt eine ausgesprochene Grünempfindlichkeit auf. Daher geben die beiden Platten bei farbigen Originalen, die lange exponiert werden müssen, z. B. Ölgemälden, etwas verschiedene Resultate.

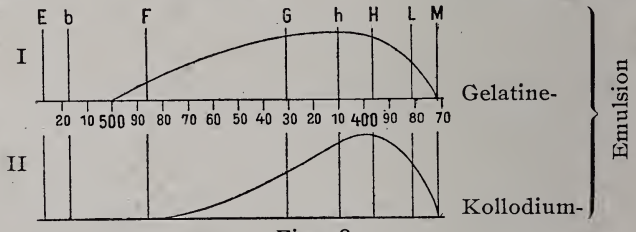


Fig. 28.

Die photographischen Platten sind aber auch für die ausserhalb des sichtbaren Spektrums, also über *H* gelegenen ultravioletten Strahlen empfindlich, und es ist gewiss von praktischem Interesse, den Einfluss dieser Strahlengattungen bei der photographischen Aufnahme von Pigmenten kennen zu lernen.

Nach den Versuchsresultaten von Dr. J. M. Eder[1]) scheinen diese Strahlen bei der Entstehung des photo-

1) Jahrbuch f. Photographie für 1895, S. 316.

graphischen Bildes eine nur untergeordnete Rolle zu spielen, und ihr Einfluss dürfte von mehreren Seiten weit überschätzt worden sein. Das Tageslicht enthält nur wenig ultraviolette Strahlen, beim Durchgang durch die Glasmasse des Objektivs und der eventuell vorhandenen Filterscheibe werden sie zum grossen Teil absorbiert, und endlich reicht auch die hohe Empfindlichkeit des Bromsilbers nicht allzuweit in den ultravioletten Teil des Spektrums. Auf die photographische Wirksamkeit der Pigmente sind also diese Strahlen bei normalen Expositionszeiten fast ohne Einfluss.

Durch Zusatz eines geeigneten Farbstoffes zur Bromsilberschicht kann deren Empfindlichkeit für die minder brechbaren Strahlen sehr bedeutend gesteigert werden, und die Photographie des Spektrums zeigt dann ausser dem dem Bromsilber eigentümlichen Band im Blauviolett auch noch einen mehr oder minder breiten Streifen — ein Sensibilisierungsband — in einem gegen Rot zu gelegenen Bezirk. Die gefärbte Bromsilberplatte kann für Grün, Gelb oder Rot so empfindlich gemacht werden, dass es möglich wird, Pigmente, welche solche Strahlen reflektieren, schon bei relativ kurzer Exposition in der photographischen Kopie mehr oder weniger hell wiederzugeben.

Nicht jeder Farbstoff wirkt aber sensibilisierend, und von der grossen Zahl, der in dieser Weise geprüften Farbstoffe zeigen zwar viele bei der spektrographischen Untersuchung ein Sensibilisierungsband, bei wenigen ist es aber so kräftig ausgesprochen, dass sie in der photographischen Praxis Verwendung finden können. Die Sensibilisierung durch einen Farbstoff tritt nur ein, wenn er an und für sich, oder aber in Verbindung mit Bromsilber lichtempfindlich ist, und wenn er sich mit dem Bromsilberkorn verbindet, dieses also färbt. Die photographische Schicht wird dann für Lichtstrahlen von

bestimmter Farbe empfindlich, und zwar entsprechend dem von Dr. H. W. Vogel ausgesprochenen Absorptionsgesetz für jene Strahlengattung, welche vom gefärbten Bromsilber absorbiert wird. Das Absorptionsband des gefärbten Bromsilbers entspricht somit dem Sensibilisierungsband der Platte.

Wie schon Seite 43 bemerkt wurde, unterscheidet sich die Farbe eines gefärbten festen Körpers in der Regel wesentlich von jener der Farbstofflösung; das Sensibilisierungsband des gefärbten Bromsilbers kann also nicht mit dem Absorptionsbande der Farbstofflösung zusammenfallen, sondern ist, im Vergleiche mit diesem, gegen das rote Ende des Spektrums verschoben.

Die Farbe des Bromsilbers dürfte sich von jener, welche gefärbte, trockene Kollodiumschichten zeigen, nicht wesentlich unterscheiden, daher entspricht das Sensibilisierungsband der gefärbten Platte dem Absorptionsband einer mit demselben Farbstoff versetzten trockenen Kollodiumschicht.

Die durch einen Farbstoff hervorgerufene Empfindlichkeitszone ist nicht scharf begrenzt, sondern breitet sich mit zunehmender Belichtung nach beiden Seiten aus. Bei kurzer Exposition kommt nur das Maximum, bei langer Belichtung aber die ganze Ausdehnung des Absorptionsbandes zur Geltung.

Die Tendenz zur Ausbreitung hängt wesentlich von der Menge und Wirksamkeit des Farbstoffes und der Empfindlichkeit der Platte ab. Bei allzu schwacher Färbung entstehen auch bei langer Exposition nur schmale Sensibilisierungsbänder, und die gleiche Erscheinung zeigen wenig wirksame Farbstoffe oder Bromsilber von geringer Allgemeinempfindlichkeit.

Die eben besprochenen Sensibilisierungserscheinungen treten in voller Reinheit nur auf, wenn die photographische Platte gefärbtes Bromsilber in einem farblosen Medium

enthält. In der Regel ist dies nicht der Fall. Beim Färben der flüssigen Emulsion, wie nicht minder beim Baden der trockenen Platten in einer Farbstofflösung, wird naturgemäss nicht nur das Bromsilber, sondern auch das Bindemittel, das Kollodium oder die Gelatine, gefärbt. Diese Medien wirken dann als Schirm, als Lichtfilter für eine bestimmte Strahlengattung und veranlassen eine Schwächung, Verschiebung und Formveränderung des Sensibilisierungsbandes.

Die Sensibilisierungszone übertrifft an Breite stets die Schirmwirkung, weil erstere schon bei mässiger Exposition zu jener Ausdehnung gelangt, welche eine intensive Farbstoffschicht bei der spektroskopischen Betrachtung zeigt. Die Schirmwirkung erstreckt sich dagegen nur auf jene Strahlengattungen, welche dem Absorptionsmaximum des Farbstoffes entsprechen, und veranlasst das Zustandekommen mehr oder weniger tiefer, oft ziemlich scharf begrenzter Einsattlungen im Verlaufe der Sensibilisierungskurve.

Die Schirmwirkung der Farbstoffe macht sich bei Gelatineplatten viel mehr geltend, als bei Kollodiumemulsionen, da die Gelatine mit Begierde den Farbstoff an sich zieht und Gelatineschichten auch in sehr verdünnten Farbstofflösungen eine intensive Färbung annehmen.

Die Empfindlichkeitskurven gefärbter Platten entsprechen daher fast niemals der thatsächlichen Farbstoffsensibilisierung, sie sind vielmehr photographische Wirkungskurven, welche unter dem Einfluss eines Farbstoffschirmes zu stande gekommen sind. Ebenso ist auch die Lage des Maximums der Empfindlichkeit, welche ein bestimmter Farbstoff einer photographischen Platte zu erteilen vermag, nicht konstant, sondern hängt wesentlich von ihrer Beschaffenheit und von dem Sensibilisierungsvorgang ab. So wird eine Kollodium-Emulsionsplatte durch Erythrosin

hauptsächlich für Strahlen von der Wellenlänge 557, d. i. $D\,^1/_2\,E$, sensibilisiert, eine Gelatineplatte zeigt nach dem Baden in sehr verdünnter Farbstofflösung das Maximum bei 560, benutzt man aber ein intensiv gefärbtes Bad, so wird das Sensibilisierungsmaximum bis 585, also fast auf die D-Linie gedrängt. Erythrosin kann daher für Gelbgrün oder Gelb, und selbst für Orange, je nach Art der Plattenfärbung, sensibilisieren.

Es ist selbstverständlich, dass infolge der Schirmwirkung auch eine Verschmälerung des Bandes, ein scheinbares Zusammendrängen desselben stattfinden muss, und aus diesem Grunde zeigen Gelatineplatten oft schmälere Sensibilisierungszonen als Kollodiumplatten.

Die Verschiebung und Formveränderung der Sensibilisierung infolge der Schirmwirkung wurde zuerst vom Verfasser[1]) beschrieben, und dann von Dr. G. Eberhard[2]) erneuert studiert und bestätigt gefunden. Bei der Präparation der Platte für Dreifarbendruck-Aufnahmen ist dieser Umstand von Wichtigkeit, da es gerade bei diesem Verfahren auf eine bestimmte Lage der Empfindlichkeitszone ankommt.

1. Sensibilisierung für Blaugrün. Ein Farbstoff, der ein ausgesprochenes Empfindlichkeitsmaximum im Blaugrün des Spektrums, also zwischen den Linien b und F hervorbringen würde, ist gegenwärtig nicht bekannt, dagegen bildet das von Dr. J. M. Eder[3]) angegebene Acridin ein vorzügliches Mittel, um der photographischen Platte eine fast gleichmässige Empfindlichkeit für die Strahlen von E bis H zu erteilen. Aus 1, Beilage III, ist das photographische Wirkungsband des Acridins NO von A. Leonhard in Mühlhausen ersichtlich;

---

1) Photographische Korrespondenz 1895.
2) Photographische Rundschau 1896, S. 42.
3) Photographische Korrespondenz 1894, S. 230.

es schliesst sich unmittelbar an die Wirkungszone des reinen Bromsilbers an und zeigt auf *Eb* ein kleines Maximum, das wahrscheinlich der Schirmwirkung des Farbstoffes zuzuschreiben ist. Der Farbstoff ist für Kollodiumemulsion und Gelatineplatten gleich gut verwendbar und gleich in der Wirkung, nur ist bei letzterer das erwähnte Maximum kräftiger ausgesprochen.

Wesentlich anders verhalten sich die rötlichen Acridine, wie Acridinorange, Acridin 3B, Acridinscharlach u. s. w., sie sensibilisieren nur für einen Teil der Spektralzonen zwischen *D* und *E* und sind, da uns viel bessere Grünsensibilisatoren zur Verfügung stehen, ohne praktischen Wert.

2. Sensibilisierung für Grün. Einen vorzüglichen Sensibilisator für die rein grünen Spektralstrahlen besitzen wir im Uranin, dem Natriumsalz des Fluoresceïns. Man verwendet es stets als Silbersalz, und seine Wirkung bei Verwendung von Kollodiumemulsion ist aus 2, jene auf Gelatineplatten aus 3 ersichtlich.

Bromsilber wird durch Uranin, ebenso wie durch Uraninsilber rot gefärbt, und entsprechend dieser Farbe ist es hauptsächlihh für die grünen Strahlen von $D\,{}^1/_2\,E$ bis *F* empfindlich; bei Kollodium-Emulsionsplatten finden wir auch thatsächlich dieses ganze breite Band ausgebildet, während bei Gelatineplatten, wegen der Schirmwirkung des Farbstoffes, dessen Absorptionsmaximum zwischen *b* und *F* liegt, nur ein Teil des Bandes zu stande kommt. Während bei der Kollodiumplatte die Uraninwirkung ohne wesentliche Unterbrechung an die Empfindlichkeitszone des Bromsilbers anschliesst, zeigt die Gelatineplatte ein, durch ein tiefes Minimum abgetrenntes Band, das bei reichlicher Färbung und Verwendung trockener Platten bis in die gelbgrüne Zone gedrängt werden kann.

3. Sensibilisierung für Gelbgrün und Gelb. Für diese Zone des Spektrums bilden die Eosine ausgezeichnete Sensibilisatoren, namentlich bei Gegenwart von Silbersalzen, welche die Empfindlichkeit wesentlich steigern und die Ausbreitung des Sensibilisierungsbandes fördern. Wie beim Uranin ist auch bei allen Eosinen die Empfindlichkeitszone bei der Gelatineplatte viel schmäler als bei der Kollodiumplatte und erscheint durch ein Minimum gegen das blaue Ende des Spektrums isoliert.

Eosin gelbstichig zeigt in Kollodium-Emulsionsplatten bei $D\,^3/_4\,E$ das Maximum, das photographische Wirkungsband ist aus 4 zu entnehmen; 5 zeigt die Wirkung des Erythrosins mit dem Maximum $D\,^2/_3\,E$, und dem Rose bengale kommt ein Maximum zu, das fast schon im reinen Gelb liegt.

Aus 6 sind die Erythrosin-Sensibilisierungskurven bei Gelatineplatten zu entnehmen, *a* entspricht einer schwach, *b* einer intensiv gefärbten Platte.

Noch blaustichiger als das Rose bengale ist das Thiodichlortetrajodfluoresceïn, Alpenrosa, von L. Durand, Huguenin & Co. in Hüningen, sein Maximum liegt im rötlichen Gelb der Linie *D*, wie aus Kurve 7 zu ersehen ist. Ähnliche Eigenschaften zeigt auch das Cyklamin, ein sehr kräftiger Sensibilisator, besonders in der Form des Silbersalzes.

An Stelle der Eosine können für die Sensibilisierung der Zone *D* bis *E* auch die Rhodamine benutzt werden, sie sind blaustichiger als die ersteren, und ihre sensibilisierende Kraft liegt zwischen den reinen Eosinen und ihren Silbersalzen.

Das gewöhnliche Rhodamin Kurve 8 wirkt analog dem Rose bengale, das blaustichige „Rhodamin 3 B“ entspricht in seiner Wirkung dem Alpenrosa.

Alle Rhodamine charakterisieren sich durch ein schmales, intensives Absorptionsband, und da ihnen über-

dies ein sehr bedeutendes Färbevermögen zukommt, so tritt sehr leicht eine Deformation des Sensibilisierungsbandes ein. Diese Erscheinung ist aus 8*b* zu entnehmen. Das Band *a* zerfällt bei stark ungefärbten Schichten in zwei Teile und das Minimum entspricht dem Absorptionsmaximum der feuchten, mit Rhodamin gefärbten Kollodiumschicht.

Ein sehr brauchbarer Sensibilisator für Gelbgrün und reines Gelb ist das Chinolinrot. Es wirkt weniger kräftig als die Silbersalze der Eosine, eignet sich aber sehr gut für Mischungen zur Sensibilisierung von Gelatineplatten.

4. Sensibilisierung für Orange und Rot. Ein guter Gelb-Orange-Sensibilisator ist das von Eder und Valenta[1]) verwendete blaustichige Rhodamin 3B: der Tetraäthyl-Rhodaminäthylester, dessen Wirkungsband aus 9 zu entnehmen ist.

Um die photographische Platte für die orangeroten Strahlen des Spektrums empfindlich zu machen, benutzt man das Cyanin, einen Farbstoff, dem wegen seiner Unbeständigkeit und Veränderlichkeit im Lichte eine hervorragend sensibilisierende Kraft innewohnt, der aber aus eben diesen Gründen oft zu Störungen im photographischen Prozess Veranlassung giebt. Während die Eosine, sowie das Acridin in der Emulsion klarhaltend wirken, und ein etwas zum Schleiern neigendes Präparat durch den Zusatz dieser Farbstoffe verbessert wird, fordert das Cyanin äusserst klar und brillant arbeitende Bromsilberschichten. Auf diesen Umstand hat man, wenn Misserfolge mit diesem Sensibilisator vermieden werden sollen, ein besonderes Gewicht zu legen.

Badet man eine Gelatinefolie in alkoholischer Cyaninlösung, so erscheint sie, ähnlich einer mit Cyanin ver-

---

1) Photographische Korrespondenz 1894, S. 228.

setzten Kollodiumschicht, blau gefärbt; benutzt man aber eine mit viel Wasser verdünnte Farbstofflösung, oder behandelt man die blaue Folie nachträglich mit Wasser, so nimmt sie eine violette Farbe an. Aus Fig. 29 sind die Absorptionsverhältnisse dieser Schichten in feuchtem und trockenem Zustande zu entnehmen.

Es scheint nun, dass auch das Bromsilber, je nach der Behandlungsweise der photographischen Platte, durch Cyaninlösung entweder blau oder violett gefärbt werden

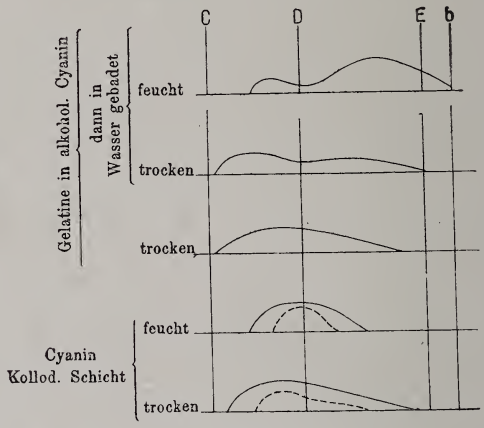


Fig. 29.

kann und diesen Färbungen entsprechend sensibilisiert erscheint.

Die mit Cyanin gefärbte Kollodium-Emulsion müsste blaues Bromsilber enthalten, und thatsächlich zeigt sie ein Sensibilisierungsband, das dem Absorptionsband der blauen Kollodiumschicht sehr ähnlich ist.

Das Sensibilisierungsband der mit wenig Cyanin versetzten Kollodium-Emulsion ist aus Beilage III, Kurve 10, zu entnehmen; vermehrt man den Farbstoffgehalt, so entsteht auf der Linie *D* ein dem Absorptionsspektrum der alkoholischen Farbstofflösung entsprechendes Minimum, daher zwei durch einen schmalen Zwischenraum getrennte

Bänder zur Ausbildung gelangen. Die in wässeriger Cyaninlösung gebadete Gelatineplatte zeigt dagegen das in Kurve 11 dargestellte Sensibilisierungsband, dessen Form dem Absorptionsband der trockenen, violetten Gelatineschicht sehr nahe kommt. Bei reichlich gefärbten Platten erscheinen die beiden Maxima infolge der Schirmwirkung des Farbstoffes getrennt, und bei nass exponierten Platten ist das zwischen *D* und *E* vorhandene Maximum schwächer ausgebildet als bei trockenen Schichten.

Als Sensibilisatoren für das spektrale Rot wären zunächst das Nigrosin, das Alizarinblaubisulfit zu erwähnen. Beide wurden von Dr. Eberhard empfohlen, und das Nigrosin wird für die Sensibilisierung rotempfindlicher Gelatineplatten vielfach verwendet.

Bei Kollodium-Emulsionen ist aber ihre Wirksamkeit eine für praktische Zwecke unzureichende, und es muss entweder Chlorophyll oder das von E. Valenta empfohlene Äthylviolett zur Anwendung kommen. Das Sensibilisierungsband des Chlorophylls ist aus 12 zu entnehmen.

Die Emulsion wird mit einen frisch bereiteten Auszuge von Epheublättern versetzt, und vor der Exposition badet man die Platte in verdünnter Boraxlösung.

Fordert man breite Sensibilisierungsbänder, so ist man oft zur Verwendung von Farbstoffmischungen gezwungen.

Färbt man die photographische Schicht mit zwei Farbstoffen, so wird fast immer die Wirkung jedes einzelnen bedeutend abgeschwächt, und sehr oft verhindert die Gegenwart des einen vollständig die Sensibilisierung durch den anderen. Eine mit Cyanin und Eosin gefärbte Platte zeigt nicht mehr jene hohe Orange- und Grünempfindlichkeit, die jeder dieser Farbstoffe einzeln hervorbringt, die Intensität und Ausdehnung der Sensibilisierungsbänder ist etwa, wie 13 zeigt, auf die Hälfte herabgedrückt. Es liegt nahe, diese Erscheinung damit

zu erklären, dass man dem Bromsilberkorn nur eine beschränkte Aufnahmefähigkeit für Farbstoffe zuerkennt, dass also bei Gegenwart mehrerer Sensibilisatoren nur kleinere Mengen jedes einzelnen an das Bromsilber gebunden werden können. Doch ist es anderseits eigentümlich, dass das Verhältnis, in welchem die beiden Farbstoffe gemischt werden, innerhalb sehr weiter Grenzen variiert werden kann, ohne ihre relative Wirksamkeit wesentlich zu stören.

Die zweite, bei der Verwendung von Farbstoffmischungen oft zu beobachtende Erscheinung ist das gänzliche Ausbleiben der Wirkung eines Farbstoffes. Dieser Fall tritt selbstverständlich immer ein, wenn die Beschaffenheit oder Behandlung der Platte dem Zustandekommen der Sensibilisierung durch einen der Farbstoffe nicht entspricht. So zerstört z. B. Silbernitrat die Farbe des Cyanins; wird daher eine mit Cyanin und Eosin gefärbte Kollodium-Emulsionsplatte in Silbernitrat-Lösung gebadet, so kann sie nur die Eosin-Sensibilisierung zeigen.

Wenn aber auch die Umstände für die Wirkung beider Farbstoffe günstig sind, kann doch das Sensibilisierungsband des einen gänzlich unterdrückt werden. In dieser Beziehung scheint besonders der chemische Charakter der Farbstoffe eine Rolle zu spielen; Farbstoffe derselben Gruppen wirken meist nebeneinander, während sich solche von sehr verschiedenem chemischen Bau oft störend beeinflussen. Auch lassen sehr kräftige Sensibilisatoren schwach wirkende nicht zur Geltung gelangen, und schliesslich hat auch die Schirmwirkung des einen Farbstoffes oft einen bedeutenden Einfluss auf das Sensibilisierungsband des zweiten.

Soll ein gemischter Farbensensibilisator in allen Teilen zur Geltung kommen, so hat man stets thunlichst ähnlich konstituierte und gleich stark wirkende Farbstoffe zu verwenden, die schon in sehr geringen Mengen zur

vollen Geltung gelangen und keine zu intensiven Absorptionsstreifen zeigen.

Die Silbersalze der Eosine lassen zwar die Rhodamine zur Geltung kommen, verhindern aber die Sensibilisierung durch Acridin, Nigrosin, Chinolinrot u. s. w. Man wird daher entweder die Silbersalze der Eosine oder silberfreie Farbstoffe für Mischungen zu benutzen haben. Um z. B. ein von *C* bis *H* fast gleichmässig deckendes Band zu erzielen, kann man bei Kollodiumplatten die Kombinationen: Uranin-Eosin-Alpenrosa (oder Cyklamin) als Silbersalze oder bei Gelatineplatten die Mischung: Acridin-Chinolinrot-Cyanin benutzen.

Eine ausgezeichnete Abhandlung über die Anwenduug von Farbstoffgemischen zur Sensibilisierung von Bromsilber-Gelatineplatten verdanken wir Dr. G. Eberhard[1]).

Eine für die Zwecke des Dreifarbendruckes sehr brauchbare und gut haltbare, fast für alle Farben empfindliche Platte erhält man nach Dr. Miethe in folgender Weise:

Zur Verwendung kommen Cyanin, Chinolinrot und Glycinrot, die man einzeln, je 1 g in 500 ccm Alkohol löst und der Cyaninlösung einige Tropfen Ammoniak zufügt.

Zur Herstellung des Sensibilisierbades werden

Glycinrot 1:500	20	ccm,
Chinolinrot 1:500	20	„
Alkohol	50	„
Wasser	100	„

gemischt, die Flüssigkeit einige Stunden stehen gelassen, dann 1 ccm Cyaninlösung 1:500 zugesetzt und filtriert. Die so gewonnene, jetzt vollkommen klare, violette Flüssigkeit wird weiter mit 100 ccm Alkohol und 200 ccm Wasser verdünnt und 1 ccm Cyaninlösung und 5 ccm Ammoniak zugesetzt.

---

1) Archiv für wissenschaftliche Photographie 1899, Seite 142.

CAMERA CLUB LIBRARY
Catalogued & Indexed 1930 by

Diese Badeflüssigkeit hält sich, im Dunkeln aufbewahrt, wochenlang vollkommen brauchbar.

Die zu sensibilisierenden Gelatineplatten werden in dieser Lösung $1^1/_2$ bis 2 Minuten gebadet, 2 Minuten unter einem Hahn, dann noch kurz in einer Tasse mit destilliertem Wasser abgespült und schliesslich getrocknet.

Das Sensibilisierungsband dieser Platte ist aus Kurve 14, Beilage III, ersichtlich.

Neuester Zeit ist es Dr. Miethe gelungen, mit Hilfe eines neuen Farbstoffes, der als „Äthylrot" bezeichnet wird, eine fast völlig panchromatische Platte herzustellen. Sie zeichnet sich überdies durch hohe Empfindlichkeit aus und dürfte für die Technik des Dreifarbendruckes eine hervorragende Bedeutung gewinnen. O. Perutz hat die Herstellung dieser Platten übernommen und bringt sie als „Perchromo-Platten" in den Handel. Kurve 15, Beilage III, zeigt ihr Sensibilisierungsband.

Wenn man aus der Sensibilisierungskurve auf das Verhalten der Platte bei der Photographie farbiger Objekte schliessen will, so hat man zu berücksichtigen, dass im prismatischen Spektrum die roten und gelben Strahlen, weil sie auf eine kleine Fläche zusammengedrängt sind, viel kräftiger wirken, als die blauen.

Auf diesen Umstand hat Dr. Neuhauss schon vor mehreren Jahren aufmerksam gemacht und für die Untersuchung farbenempfindlicher Platten das Gitterspektrum empfohlen.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die mit dem Gitterspektrographen erzielten Resultate ein richtiges Urteil über die praktische Farbenempfindlichkeit einer Platte ermöglichen, doch ist das Spektrum ziemlich lichtschwach, und geringe Wirkungen der weniger brechbaren Strahlen, die uns gerade am meisten interessieren, können leicht ganz übersehen werden.

Exponiert man z. B. eine rotempfindliche Handelsplatte im Gitterspektrum, so kommt ihre Rotempfindlichkeit gar nicht zur Geltung, so dass man sie für eine unorthochromatische Platte halten könnte, und doch vermag sie bei vorgeschaltetem Filter und genügend langer Belichtung rote Pigmente hell wiederzugeben.

Aus diesem Grunde dürfte es zweckmässiger sein, den gegenwärtig allgemein gebräuchlichen Prismenspektrographen auch ferner beizubehalten und seine Resultate in der Seite 21 angegebenen Weise auf das Normalspektrum umzurechnen.

Werden genaue Resultate gefordert, so muss allerdings die Dichtigkeit des mit dem Prisma erhaltenen Bandes zunächst an verschiedenen Stellen gemessen werden, wozu man sich am besten des Martensschen Polarisations-Photometers bedient, das von Schmidt & Haensch in einer für solche Zwecke sehr bequemen Form gebracht wurde.

Wie bedeutend die Unterschiede in der Wirkungsweise beider Spektren sind, soll schliesslich noch an einigen Beispielen gezeigt werden.

Die Kurve *a* (Fig. 30) entspricht einer mit Erythrosin sensibilisierten Gelatineplatte; aus der Aufnahme des Prismenspektrums würde man auf gleiche Empfindlichkeit für Gelbgrün und Blau schliessen, während aus der dem Normalspektrum entsprechenden Kurve die thatsächlich nur geringe Empfindlichkeit für die gelbgrünen Strahlen zu ersehen ist.

Die Kurven *b* zeigen eine Gelatineplatte, die bei der Exposition im Prismenspektrum eine scheinbar bedeutendere Rotempfindlichkeit aufweist. Im Normalspektrum ist aber diese Empfindlichkeit für Rot nur gering, und thatsächlich macht sie sich bei der Aufnahme eines farbigen Objektes — ohne Strahlenfilter — kaum bemerkbar.

Die Eosinsilber-Kollodiumplatte *c* wäre, wenn man nach der Sensibilisierungskurve im Prismenspektrum urteilen wollte, fast nur für Gelbgrün empfindlich, während sie gelbgrüne Pigmente doch nicht heller als blaue wiedergiebt, was mit ihrem Verhalten im Normalspektrum im Einklange steht.

Eine Platte *d*, die im Prismenspektrum eine gleiche Wirksamkeit aller Strahlengattungen zeigen würde, wäre,

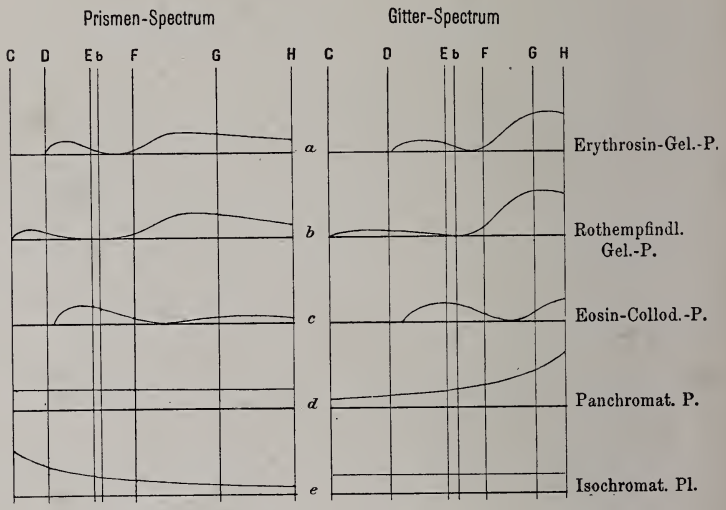


Fig. 30.

wie die Kurve im Normalspektrum erkennen lässt, für die weniger brechbaren Strahlen so wenig empfindlich, dass sie rote Objekte fast schwarz wiedergeben müsste.

Sollen alle gleich gesättigten und gleich reinen Farbstoffe in ihrer Photographie gleich hell erscheinen, so muss die Platte gleiche Empfindlichkeit für alle Strahlen des Normalspektrums zeigen, ihre Sensibilisierungskurve also einer geraden Linie entsprechen. Im Prismenspektrum müsste daher die Platte eine durch die Kurve *e* dargestellte Empfindlichkeit besitzen.

Zum Schluss mögen hier noch einige Bemerkungen über die Bezeichnung farbenempfindlicher Platten Platz finden.

Die Bezeichnung „orthochromatisch“ wird für photographische Platten angewendet, welche die Möglichkeit bieten, ein farbiges Original derart zu photographieren, dass die Farben entsprechend ihrer Helligkeit abschattiert erscheinen. Sie sind nur für Gelbgrün und Blau empfindlich, vermögen also rote Töne nicht genügend hell wiederzugeben.

„Panchromatisch“ nennt man Platten, welche für alle Farben empfindlich sind, wobei jedoch das Empfindlichkeits-Verhältnis für die einzelnen Strahlengattungen sehr verschieden sein kann. Durch Vorschalten von Filtern lässt sich ihr Sensibilisierungsband dem jeweiligen Zwecke umformen.

Der Ausdruck „isochromatisch“ wurde früher oft als gleichbedeutend mit orthochromatisch angewendet, es dürfte sich jedoch empfehlen, diese Bezeichnung nur in der von C. Bonacini[1]) präzisierten Bedeutung für Platten zu benutzen, welche für alle Strahlen des Normalspektrums gleiche Empfindlichkeit besitzen. Sie müssten daher derart sensibilisiert sein, dass die Photographie des Normalspektrums ein in allen Teilen gleich dichtes Band ergiebt, und sind daher durch die oben besprochenen Kurven *e* charakterisiert. Solche Platten lassen sich zwar gegenwärtig nicht herstellen, doch lässt sich der isochromatische Effekt auch durch panchromatische Platten im Verein mit passenden Filtern erzielen.

b) Die Strahlenfilter.

Um die Wirkung gewisser Strahlengattungen von der photographischen Platte auszuschliessen, schaltet man vor oder hinter das Objektiv oder auch unmittelbar vor die lichtempfindliche Schicht ein durchsichtiges, farbiges

1) C. Bonacini: La fotografia dei colori. Ulrico Hoepli, Milano 1897.

Medium — eine gefärbte Glasplatte, ein Kollodium- oder Gelatinehäutchen, eine mit farbiger Flüssigkeit gefüllte Glascuvette —, und bezeichnet diese Körper als Licht- oder Strahlenfilter.

Die vom Filter absorbierten Strahlen gelangen nicht mehr zur photographischen Schicht, daher sich diese ebenso verhält, als ob sie für diese Strahlengattungen gar nicht empfindlich wäre. Schaltet man z. B. vor das Objektiv eine gelbe Glasplatte, welche alle blauen und violetten Strahlen absorbiert, so wird sich mit einer nassen Kollodiumplatte keinerlei photographische Wirkung erzielen lassen, da die Platte ihrer Blau-Violettempfindlichkeit gleichsam beraubt wird. Benutzt man anderseits ein Filter, welches Strahlen absorbiert, die auf die photographische Platte wirkungslos sind, so kann damit keinerlei Effekt erzielt werden. Würde man z. B. vor einer Bromsilber-Kollodiumplatte ein Methylenblaufilter anbringen, so wird sich die Aufnahme in keiner Weise von einer solchen ohne Strahlenfilter unterscheiden, denn es ist ganz gleichgültig, ob die gelben Strahlen bis zur Platte gelangen, oder ob sie durch das Filter aufgehalten werden.

Die Wirksamkeit eines Filters wird nicht durch seine Farbe, sondern lediglich durch sein Absorptionsband bestimmt; so können sich z. B. durchsichtige Körper von gleichem, grünem Farbenton als Filter sehr verschieden verhalten, da ihnen verschiedene Absorptionsspektren zukommen.

Mit zunehmender Sättigung der Filterfarbe gewinnt das Absorptionsband an Ausdehnung und verhindert dann den Durchgang von Strahlengattungen, welche das weniger intensive Filter fast anstandslos passieren können. Eine verdünnte Lösung von Eosin absorbiert nur die grünen Strahlen, wird also als Filter eine gewöhnliche Platte in keiner Weise beeinflussen, während

sich eine konzentrierte Lösung, der ein über das Blau und Violett reichendes Band zukommt, wie eine Gelbscheibe verhält.

Es genügt daher nicht, eine Farbstofflösung als Filtersubstanz zu bezeichnen, es ist vielmehr auch die Angabe ihrer Konzentration und die Dicke der zu verwendenden Schicht unbedingt erforderlich, wenn eine bestimmte Wirkung hervorgebracht werden soll.

Bei Verwendung von Platten, welche für alle Strahlengattungen die gleiche Empfindlichkeit besitzen, würde jedes beliebige Filter zur vollen Wirkung gelangen, während bei den meisten farbenempfindlichen Platten, welche nur für einzelne Bezirke des Spektrums sensibilisiert sind, die das Filter durchsetzenden Strahlen nur nach Massgabe der Plattenempfindlichkeit wirksam sein können. Dasselbe Filter wird daher bei verschieden sensibilisierten Platten ganz verschiedene Resultate geben, und um die Strahlen einer bestimmten Spektralzone auf die Platte wirken zu lassen, muss das Filter zur vorhandenen Plattenempfindlichkeit abgestimmt werden. Dabei kann man jenen Strahlen, für welche die Platte nicht empfindlich ist, ungehindert den Durchgang durch das Filter gestatten. Man wird daher, wenn sich nur bestimmte Farbenstrahlen an der photographischen Aufnahme beteiligen sollen, die Platte für den gewünschten Teil des Spektrums empfindlich machen und das Filter derart wählen, dass die Wirkungszone des sensibilisierenden Farbstoffes passend eingeschränkt und, wenn nötig, auch in einzelnen Teilen abgeschwächt wird.

Solche, nur die Sensibilisierungszone modifizierende Filter sind selbstverständlich nur bei Platten von ganz bestimmten Empfindlichkeitsverhältnissen verwendbar und können als „Korrektionsfilter“ bezeichnet werden. Will man z. B. nur die grünen Strahlen des Spektrums zur

Wirkung gelangen lassen, so wird man die Platte mit Fluoresceïnsilber sensibilisieren, wobei sie den grössten Teil ihrer normalen Blau-Violettempfindlichkeit behält. Um letztere auszuschliessen, genügt es, ein gelbes Medium als Korrektionsfilter vor das Objektiv zu legen, es wirkt ebenso wie ein vollkommenes Filter von grüner Farbe.

Für die Beurteilung eines Filters benutzt man meist das Spektroskop, wobei man jedoch zu berücksichtigen hat, dass die Ausdehnung des Absorptionsbandes wesentlich von der Intensität des durchfallenden Lichtes abhängt (Seite 46). Ähnlich verhält es sich mit der spektrographischen Prüfung. Auch hier ist die Intensität der Lichtquelle von Einfluss auf das Resultat, und da überdies während der Exposition die Lichteindrücke auf der Platte summiert werden, so wird die abgebildete Ausdehnung der Filteröffnung auch von der Dauer der Belichtung abhängen.

Die spektroskopische Untersuchung eines Filters muss sich daher mit dem Resultat der Spektrumphotographie keineswegs decken und bei Verwendung empfindlicher Platten mit starker Ausbreitungstendenz der Sensibilisierungszone können bedeutende Differenzen auftreten. Ein Grünfilter z. B., das bei der spektroskopischen Betrachtung eine nur schmale Öffnung bei *Eb* zeigt, lässt vielleicht auch die benachbarten Strahlen bis *D* und *F* durch, allerdings so geschwächt, dass sie für das Auge nicht mehr wahrnehmbar sind. Für eine kräftig grünsensibilisierte Gelatineplatte können sie aber noch sehr wirksam sein, und die Photographie des Spektrums wird dann bei ausreichender Exposition ein breites, gegen *D* und *F* verlaufendes Band zeigen. Aus der im Spektroskop wahrnehmbaren Beschaffenheit eines Filters, lässt sich daher seine Wirkung als Schirm vor der photographischen Platte kaum beurteilen, nur die Exposition des Spektrums liefert zutreffende Resultate, die sich aber,

wie Seite 100 erörtert wurde, nur mit Vorsicht auf die Verhältnisse in der Kamera übertragen lassen.

In der Praxis benutzt man als Filter nur selten in der Masse gefärbte Gläser, da solche, wenn ganz bestimmte Absorptionsverhältnisse gefordert werden, schwierig zu erzeugen sind, sondern man wählt entsprechende Teerfarbstoffe und benutzt sie entweder als Lösungen in Cuvetten, oder man stellt gefärbte Kollodium-, Gelatine- oder Lackschichten her. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die verschiedene Verwendungsart der Farbstoffe oft von Einfluss auf die Form und Lage des Absorptionsbandes ist, dass man also verschiedene Resultate erhält, wenn ein Farbstoff als Lösung oder in fester, trockener Schicht benutzt wird.

1. Gelbfilter. Die gelben Filterschichten absorbieren stets das gesamte Violett und je nach dem Farbenton mehr oder weniger Blau oder Blaugrün. Das Absorptionsband erstreckt sich daher bei grünlichem Gelb bis F, bei einem gelben Medium bis $E\,^1/_2\,F$; mit zunehmender Verdünnung bleibt das Ende der Absorption in diesen Punkten stehen, und die Kurve steigt immer flacher gegen Violett an.

Als Typus für die grünlichgelben Filter kann die Pikrinsäure gelten, deren Absorptionsband aus 1 (Fig. 31) ersichtlich ist; der konzentrierten Lösung entspricht das Band 1, mit zunehmender Verdünnung entstehen die Bänder 2 und 3. Aus dem Anblick, den das Absorptionsspektrum der verdünnten Farbstofflösung gewährt, könnte man zwar schliessen, dass sich ihr Absorptionsband nur auf das Violett erstreckt und bei G endet; die Spektrumphotographie mit vorgeschaltetem Filter lehrt aber, dass die Breite des Bandes fast unabhängig von der Konzentration der Lösung ist.

Die Pikrinsäure absorbiert nicht das ganze Ultraviolett, sondern ihr Absorptionsband verläuft sehr allmählich hinter der Linie M.

Da die Empfindlichkeit der Bromsilberplatte bei *M* schon sehr gering ist (siehe Seite 110), so kann man annehmen, dass die Pikrinsäure auch einen vollkommenen Schutz gegen die Wirkung der ultravioletten Strahlen gewährt.

Pikrinsäurefilter von geringer Konzentration üben auf die gewöhnliche Gelatineplatte fast keinen Einfluss

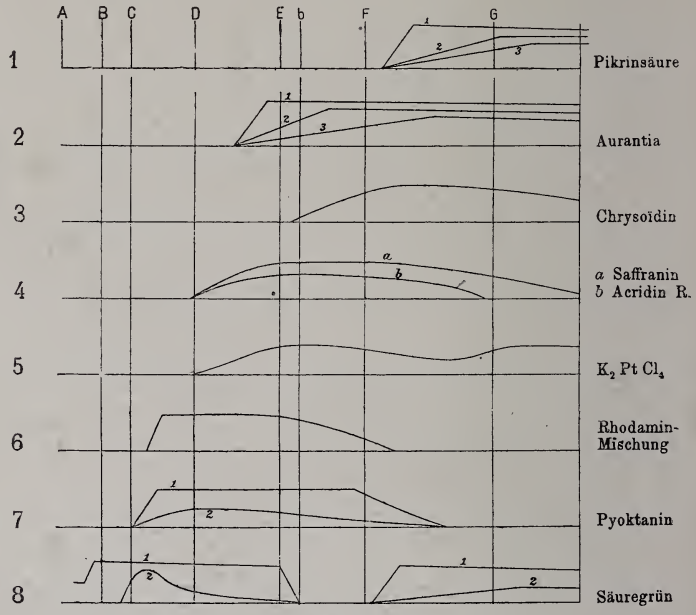


Fig. 31.

aus, sie verzögern die Exposition nur wenig und ändern auch nur unbedeutend die photographische Wirkung der Pigmentfarben. Kollodiumplatten dagegen erfordern nach dem Vorschalten eines solchen Filters wesentlich längere Expositionen, und ihre Maximalempfindlichkeit wird von Violett über *G* verschoben, so dass sie die der Gelatineplatte zukommende photographische Wirkungskurve zeigen. Die photographische Wirksamkeit der Pigmentfarben wird aber auch in diesem Falle nur wenig irritiert.

Für die rein gelben Strahlenfilter ist das Verhalten des Naphtholgelb charakteristisch. Sein Absorptionsband reicht über *F* und zeigt sonst die erwähnten Eigentümlichkeiten des Pikrinsäurebandes. Analog diesem Farbstoff verhält sich die Lösung von einfach chromsaurem Kalium.

Die gewöhnliche Kollodiumplatte lässt sich durch diese Strahlenfilter nicht exponieren, dagegen giebt die Gelatineplatte nach sehr langer Belichtung ein vollständiges Bild, das sich aber bezüglich der den Pigmenten entsprechenden Abschattierung nicht allzu sehr von der Aufnahme ohne Filter unterscheidet. Blaue und grüne Pigmente erscheinen am lichtesten, gelbe und rote haben kaum gewirkt. Diese Erscheinung erklärt sich durch die Verschiebung, welche das photographische Wirkungsband durch Vorschalten eines solchen Filters erleidet und die aus nachstehender Fig. 32 zu ersehen ist: Das Maximum bleibt zwischen *F* und *G* erhalten, und den Raum zwischen *F* und *D* deckt nur ein leichtes Schattenband.

2. Orangefilter. Durchsichtige Körper von dieser Farbe können entweder das gesamte Violett, Blau und Grün gleichmässig absorbieren, oder sie zeigen eine relativ sehr kräftige Absorption zwischen *F* und *G*, die langsam gegen *E* und *H* abnimmt.

Orangefilter der ersten Art liefert Aurantia und Metylorange in Lösung oder als Kollodiumschicht, dann Kaliumdichromat-Lösung, während die Filter der zweiten Art im Chrysoïdin einen Repräsentanten besitzen. Das Absorptionsband der Aurantiaschicht ist aus 2 (Fig. 31) für drei Konzentrationen 1, 2, 3 zu entnehmen. Nach O. Buss[1]) endet das Band im ultravioletten Teile des Spektrums und reicht nicht weit über das sichtbare Violett. Das Aurantiafilter schützt daher die photo-

1) Photographische Korrespondenz 1896, S. 368.

graphische Platte nur unvollkommen gegen die Wirkung der ultravioletten Strahlen, doch können sich diese stets nur bei sehr langen Expositionen bemerkbar machen.

Das Absorptionsband des Chrysoïdins ist aus 3 ersichtlich, es lässt nicht nur die ultravioletten, sondern auch die sichtbaren violetten Strahlen — allerdings sehr abgeschwächt — passieren und entspricht in seinem Verlaufe fast vollständig der Empfindlichkeitskurve einer Gelatineplatte. Aus diesem Grunde verschiebt das Chrysoïdinfilter das Empfindlichkeitsmaximum dieser Platte in ganz anderer Weise, wie Naphtholgelb und

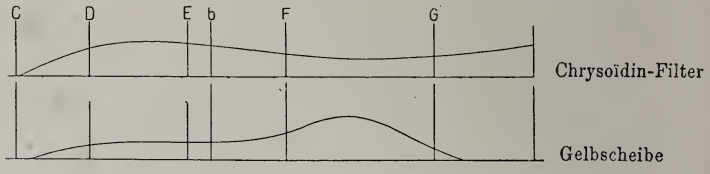


Fig. 32.

Aurantia. Fig. 32 zeigt die Aufnahme des Spektrums mit gewöhnlicher Bromsilbergelatine-Platte hinter einem Chrysoïdinschirm. Das Empfindlichkeitsmaximum ist nach Gelbgrün verschoben, und wenn man die blauen und violetten Strahlen durch ein Naphtholgelbfilter von der Platte fernhält, dann wird sich diese, Pigmentfarben gegenüber ebenso verhalten, als ob sie für die Spektralzone *DE* sensibilisiert wäre. Ives[1]) benutzt diese Filterkombination, um mit ungefärbten Gelatineplatten orthochromatische Aufnahmen durchzuführen. Es gelingt dies auch thatsächlich, doch sind enorm lange (200 bis 600 fache) Expositionen erforderlich.

Ähnlich dem Chrysoïdin verhält sich das Acridin von Leonhard in Mühlhausen, nur ist sein Absorptionsband etwas schmäler und endet ziemlich schroff bei der

1) Photographische Korrespondenz 1895, S. 494.

Linie *G*. Eine Acridinlösung lässt daher das gesamte sichtbare Violett ungeschwächt durch.

3. Rotfilter. Das Absorptionsband der für Rotfilter geeigneten Substanzen liegt entweder zwischen *D* und *F*, oder es deckt das ganze sichtbare Spektrum von *H* bis *E* und verläuft dann meist sanft bis *D*.

Die meisten Teerfarbstoffe gehören der ersten Gruppe an. Ist ein steiler Abfall gegen das rote Ende des Spektrums erwünscht, so benutzt man die Eosine oder Rhodamine am besten als Lösungen, erscheint dagegen ein sanfter Verlauf der Bandränder wünschenswert, so sind Farbstoffe aus der Gruppe der Azokörper besser geeignet. Die Kurve 4 (Fig. 31) zeigt die Absorption einer Biebricher Scharlachlösung oder einer mit Safranin gefärbten Kollodiumschicht. Soll auch die Wirkung der blauen und violetten Strahlen verhindert werden, so kombiniert man diese Filter mit einer Gelb- oder Orangeschicht. Bei den breitbandigen Filtern der zweiten Gruppe ist dies nicht nötig, und als Repräsentant derselben mag die Lösung des Kaliumplatinchlorürs — Kurve 5 — erwähnt werden.

Die geringe Menge der blauen Strahlen, welche diese Lösung durchlässt, ist nur mit Hilfe des Spektrographen zu konstatieren und kann nur bei sehr langer Exposition zur Geltung gelangen.

Durch Kombination mehrerer Farbstoffe kann man die Öffnung des Filters beliebig einschränken. Wollte man z. B. einen Schirm herstellen, der nur das spektrale Rot durchlässt, so könnte eine mit blaustichigem Rhodamin gefärbte Kollodiumschicht (je 0,5 g Rhodamin 3 B und Tetraäthyl-Rhodaminäthylester auf 100 ccm Kollodium) mit einer Aurantia-Naphtholgelb-Lackschicht kombinieren. Das Band der Rhodaminschicht ist aus 6 ersichtlich. Die genannte Kombination lässt lediglich die Strahlen von *A* bis *C* passieren.

4. Violett- und Blaufilter. Um die photographische Platte gegen die Wirkung der gelbgrünen und gelben Strahlen zu schützen, benutzt man eine Lösung von Methylviolett oder besser das gegen Säuren unempfindliche Säureviolett oder Pyoktanin.

Die trockene Kollodiumschicht ist blau gefärbt und zeigt ein breites, verwaschenes, zwischen *C* und *F* liegendes Band — Kurve 7 (Fig. 31).

Sehr geeignet für blaue Kollodium-Trockenfilter ist das Viktoriablau wegen seiner leichten Löslichkeit in Alkoholäther. Die Absorptionsbänder der blauen Teerfarbstoffe beginnen nicht im äussersten Rot, sondern lassen zwischen *A* und *C* stets eine Lücke offen, dagegen zeigen die Lösungen von Kupfersalzen, wie Kupfervitriol oder Kupferoxydammoniak, dann die Lösung von Berlinerblau in Oxalsäure vollkommene Endabsorption.

Die konzentrierte Kupferoxydammoniak-Lösung, wie man sie beim Versetzen einer Kupfervitriol-Lösung mit Ammoniak erhält, absorbiert alle Strahlen vom roten Ende des Spektrums bis über *F*, lässt die blauen ungehindert durch und absorbiert die sichtbaren violetten grösstenteils und die ultravioletten vollständig.

5. Grünfilter. Die verdünnten Lösungen grüner Teerfarbstoffe zeigen bei der spektroskopischen Betrachtung nur ein schmales Band in der Nähe der Linie *C*; die spektrographische Prüfung lehrt jedoch, dass diese Pigmente nicht nur das Ultraviolett, sondern auch einen Teil des sichtbaren Violett und Blau absorbieren und in dieser Beziehung ähnlich einem Pikrisäurefilter wirken. Mit zunehmender Konzentration wird diese Endabsorption auch im Spektroskop sichtbar, und sehr dichte Schichten decken das ganze Spektrum mit Ausnahme einer im Grün oder Blaugrün liegenden schmalen Zone.

Das Absorptionsspektrum 8 entspricht einer Lösung von Säuregrün; wie man sieht, gestattet die konzentrierte

Flüssigkeit lediglich den zwischen *b* und *F* gelegenen Strahlen den Durchgang.

Durch Mischung dieses Farbstoffes mit Pikrinsäure oder einer Lösung von chromsaurem Kalium lassen sich Filter herstellen, deren Öffnung einer bestimmten Gattung grüner Strahlen entspricht. So liefert z. B. eine Mischung von 20 ccm einer gesättigten Lösung von einfach chromsaurem Kalium mit 5 ccm Säuregrün 1 : 1000 eine Filterflüssigkeit, die in 1 cm dicker Schicht nur die grünen Strahlen zwischen *E* und *b* passieren lässt. Dem Säuregrün kommt keine vollständige Endabsorption im Rot zu; diese Lücke kann durch Zusatz von Kupfervitriol-Lösung geschlossen werden.

Die als Strahlenfilter dienenden gefärbten Schichten werden vor oder hinter dem Objektiv oder auch knapp vor der empfindlichen Platte angebracht. Damit die Schärfe des photographischen Bildes durch das Einschalten des Filters nicht leidet, müssen, namentlich, wenn es in der Nähe des Objektives angebracht ist, seine Begrenzungsflächen thunlichst parallel gestaltet sein. Doch spielt in dieser Beziehung die Brennweite des Objektivs eine grosse Rolle. Während bei Instrumenten, bis etwa 24 cm Brennweite, das Vorschalten einer gewöhnlichen Spiegelglasplatte oder eines Kollodiumhäutchens kaum eine wahrnehmbare Veränderung der Bildschärfe zur Folge hat, fordern langbrennweitige Objektive sehr sorgfältig geschliffene Platten, und selbst bei diesen macht sich oft ein Abnehmen der Schärfe bemerkbar.

Früher hat man sich häufig mit Glasplatten begnügt, die mit gefärbtem Kollodium oder Lack überzogen waren, kam aber bald zur Überzeugung, dass solche Schichten stets von ungünstigem Einfluss auf die Schärfe des Bildes sind. Gegenwärtig sind fast ausschliesslich mit gefärbter Gelatine überzogene Platten im Gebrauche, die man

überdies nicht am Objektiv, sondern knapp an der photographischen Platte anordnet.

Die Verwendung vollkommen planparalleler Gläser ist dann nicht erforderlich, und gewöhnliche Glasplatten, besserer Sorte, reichen für die meisten Zwecke aus. Man kann sich solche Trockenfilter leicht selbst herstellen, indem man dünne Glasplatten mit Gelatine überzieht und dann in passenden Farbstofflösungen badet.

Man wählt zu diesem Zwecke thunlichst fehlerfreie Platten aus Spiegelglas und legt sie auf eine dicke Glasplatte, die man mit Hilfe einer Wasserwage horizontal gestellt und in passender Weise angewärmt hat. Dann giesst man eine gut filtrierte, vollkommen klare, etwa fünfprozentige Gelatinelösung auf, verteilt die Flüssigkeit mit einem Glasstab, lässt erstarren und trocknet schliesslich die Platten an einem vollständig staubfreien Ort. Oft genügt auch eine gewöhnliche Bromsilbergelatine-Platte, die man mit Fixiernatron behandelt und dann gut auswässert und trocknet.

Solche mit Gelatine überzogene Glasplatten lassen sich in Farbstofflösungen vollkommen gleichmässig und beliebig satt färben. Zum Schutze gegen mechanische Verletzungen kann auf die gefärbte Schicht eine zweite dünne Spiegelglasplatte mit Hilfe von Canadabalsam aufgekittet werden [1]).

Das Färben der Platten erfolgt stets in wässerigen Bädern und, um das Anfallen des Farbstoffes zu erleichtern, macht man die Flüssigkeit mit Essigsäure oder Borax schwach sauer, resp. alkalisch.

Besonders geeignet für das Färben solcher Filter sind nachstehende Farbstoffe:

---

1) Das Überziehen der Glasplatten mit Gelatine, sowie das Verkitten derselben hat Dr. A. Miethe in der Zeitschrift für Reproduktionstechnik 1901, S. 163, ausführlich beschrieben.

Naphtholgelb S und Chinolingelb färben in schwach saurer Lösung bei kurzer Einwirkung Gelb, ähnlich der Farbe einer Pikrinsäurelösung; bei langer Dauer entsteht ein sattes Reingelb.

Chrysophenin giebt bei schwacher Färbung reingelbe, bei starker Färbung rötlichgelbe Schichten.

Säuregrün mit etwas Essigsäure oder Malachitgrün mit Borax färben Grün.

Echtgrün-bläulich erteilt der Gelatine eine blaugrüne Farbe.

Diamin- und Methylenblau färben in einer dem Berlinerblau ähnlichen Farbe.

Höchster Neublau färbt Reinblau und Säure-Violett liefert ein rotstichiges Blau.

Die genannten vier Farbstoffe sind gleichfalls in saurer Lösung zu benutzen.

Methylviolett färbt in schwach alkalischen Bädern blauviolett.

Die Farbstoffe der Eosingruppen, besonders Erythrosin und Rose bengale, benutzt man in neutralen Bädern, sie erteilen der Gelatine bläuliche Purpurtöne.

Biebricher Scharlach, Saffranin und Xylidinponceau geben in schwach sauren Bädern dem spektralen Rot ähnliche Farben, während Benzopurpurin ein gelbstichiges Rot liefert.

Methylorange giebt bei Gegenwart von etwas Essigsäure ein reines Orange.

Durch Mischung von zwei oder mehreren dieser Farbstoffe lassen sich Filter von allen denkbaren Farben und den jeweilig gewünschten spektralen Eigentümlichkeiten erhalten.

Um ein langsames und gleichmässiges Anfärben zu erzielen, benutzt man ziemlich verdünnte Lösungen, die man überdies mit etwa 20 Prozent Alkohol versetzt.

Das Färbebad besteht daher aus:

Wasser	100 ccm,
Alkohol	20 „
wässerige Farbstofflösung 1 : 150	10 bis 20 ccm,
Essigsäure	5 Tropfen,
oder kalt gesättigte Boraxlösung . . .	3 ccm.

Man bringt die zu färbende Platte in eine Tasse, übergiesst sie mit der filtrierten Farbstofflösung und lässt diese, unter häufigem Schwenken, so lange wirken, bis die Färbung die gewünschte Intensität zeigt. Dann hebt man die Platte aus der Flüssigkeit, lässt abtropfen, spült sie in einem gleich zusammengesetzten Bade, das jedoch keinen Farbstoff enthält, ab und lässt trocknen.

Wäre die Färbung zu satt ausgefallen, so kann die Platte abgeschwächt werden, wenn man sie mit Wasser wäscht, dem man, wenn nötig, bei saurer Färbung etwas Borax, bei alkalischer Färbung einige Tropfen Essigsäure zugesetzt hat.

C. Die Praxis des Dreifarbendruckes.

a) Die Herstellung der photographischen Negative.

Die Apparate. Für die Dreifarbenphotographie ist selbstverständlich jede Kamera geeignet, nur hat man für genügende Stabilität derselben Sorge zu tragen, damit bei Wechseln der Platten und Filter jede Verschiebung des Apparates ausgeschlossen ist. Eine scheinbar ganz unbedeutende Verschiebung der Kamera würde die Dimensionen der Negative beeinflussen, und das gegenseitige Passen der Teilbilder wäre ausgeschlossen.

Bis zu Formaten 21×26 cm sind Gelatine-Trockenfilter sehr gut verwendbar, und sie werden entweder, ohne aufgekittetes Schutzglas, direkt auf die photographische Platte in die Kassette gelegt, oder in der Kamera ähnlich wie der Glasraster bei Autotypie-Aufnahmen befestigt. Im ersteren Falle wählt man Filter-

platten von gleicher Stärke und nach dem Einstellen muss der Kassettenrahmen der Kamera um die Dicke der Platten zurückgestellt werden, da man sonst unscharfe Negative erhalten würde.

Die Filter müssen überhaupt, gleichgültig, wo man sie anbringt, stets von gleicher Dicke sein, weil durch das Einschalten einer planparallelen Platte in den Strahlengang des Objektives die Grösse des Bildes auf der Visierscheibe geändert wird.

Für grosse Formate empfiehlt sich die Benutzung von Cuvetten, die in sehr zweckentsprechender Form von der Optischen Anstalt C. Zeiss in Jena hergestellt werden (Fig. 33). Das Glasgefäss wird aus zwei planparallelen Platten und einem zwischenliegenden Glasring gebildet, von einer Messingfassung umschlossen und lässt sich mit Hilfe derselben an den vorderen Ring des Objektives anstecken.

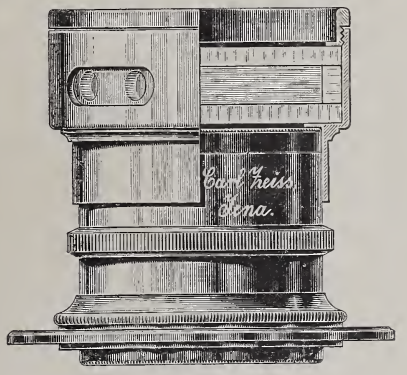


Fig. 33.

Die Weite der Cuvette, welche durch den Glasring bestimmt wird, beträgt bei allen Grössen 5 mm, daher stets Flüssigkeitsschichten von dieser Dicke zur Wirksamkeit gelangen. Die unten folgenden Vorschriften für Filterlösungen beziehen sich stets auf eine solche Flüssigkeitsschicht, müssen daher für Cuvetten von anderer Weite entsprechend verändert werden. Soll z. B. eine Cuvette von 1 cm Weite benutzt werden, so ist die angegebene Farbstofflösung mit der gleichen Menge Wassers zu verdünnen. Verwendet man eine Cuvette, so muss sie bei jeder der drei Aufnahmen eingeschaltet werden, und

wäre bei einer derselben ein Farbenfilter nicht erforderlich, so wird sie mit Wasser gefüllt, benutzt.

Um bei Aufnahmen von Landschaften, Personen u. s. w. ein thunlichst rasches Wechseln der Platten und Filter zu ermöglichen, hat man Schiebekassetten (Dr. Selle, A. Hofmann und Dr. Hesekiel) konstruiert, welche die von den Filtern bedeckten Platten — nebeneinander liegend — aufnehmen und sich schlittenartig an der Kamera verschieben lassen.

Überdies wurden auch Apparate gebaut, welche die gleichzeitige Aufnahme der Negative gestatten, indem das vom Objektiv entworfene Bild durch Spiegel nach drei Richtungen reflektiert wird und die drei lichtempfindlichen, durch Filter geschützten Platten gleichzeitig trifft[1]).

Die Dreifarbenphotographie fordert lichtstarke Objektive, da man bei ungenügender Lichtintensität mit den stets nur wenig rotempfindlichen Platten keine kräftigen Negative zu erzielen vermag. Weiter soll das Objektiv derart beschaffen sein, dass die drei, mit einer Einstellung hergestellten Negative genau gleiche Grösse besitzen.

Bei den gewöhnlichen Objektiven vereinigen sich die gelben und blauen Strahlen in derselben Bildebene, während das Bild der roten Strahlen hinter derselben liegt; auf das Bild der gelben Strahlen wird eingestellt, da es hell und deutlich sichtbar ist, während die blauen Strahlen photographisch wirken. Man erhält daher ein der Einstellung entsprechendes photographisches Negativ, wobei das Bild der roten Strahlen gar nicht in Betracht kommt.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Dreifarbenphotographie, bei der auch die roten Strahlen zur Bild-

---

1) A. Hofmann, Aufnahme-Apparate für Farbenphotographie. Photogr. Centralblatt 1901.

erzeugung benutzt werden. Das gewöhnliche, nur für Gelb und Blau korrigierte Objektiv zeigt bei der Aufnahme mit dem roten Strahlenfilter die als „Fokusdifferenz“ bekannte Eigentümlichkeit: dem Negativ fehlt die Schärfe, und seine Dimensionen entsprechen nicht der Einstellung.

Bei Objektiven mit kleiner Brennweite und bei geringer Ausnutzung des Bildwinkels ist dieser Fehler allerdings kaum wahrnehmbar, bei grösseren Reproduktionsobjektiven ist er aber sehr störend.

Zu seiner Beseitigung wurden von C. Zeiss in Jena Apochromat-Planare und von Voigtländer & Sohn in Braunschweig Apochromat-Kollineare hergestellt, welche bei einer Einstellung unabhängig von der Farbe des Filters stets gleich scharfe und gleich grosse Bilder liefern.

Der photographische Prozess.

Nachdem das nasse Verfahren mit Jodbromkollodium eine Sensibilisierung durch Farbstoffe nur ausnahmsweise gestattet, so ist man bei der Ausführung des Dreifarbendruckes auf die beiden Emulsionsverfahren angewiesen.

Ob man sich für die Verwendung der Kollodiumemulsion entscheiden oder der Gelatineplatte den Vorzug einräumen soll, wird durch die eben vorhandenen Verhältnisse bestimmt. Mit Kollodiumemulsion lassen sich sehr leicht jene breiten, durch keine Schirmwirkung gestörten Sensibilisierungszonen erzielen, wie sie der photographische Prozess des Dreifarbendruckes fordert, und wenn auf eine Platte nur eine bestimmte Gruppe der weniger brechbaren Strahlen wirken soll, so kann die farbenempfindliche Kollodiumplatte gegenüber der Gelatineplatte, bezüglich der Expositionsdauer sogar überlegen sein. Auch ist der Arbeitsmodus bei Verwendung der Kollodiumemulsion, besonders wenn es sich um

grössere Formate handelt, wesentlich einfacher und bequemer, als jener bei Benutzung von Gelatineplatten. Im Momente des Gebrauches können Platten jeder Grösse hergestellt werden, und das Entwickeln, Fixieren und Waschen geschieht ohne Zuhilfenahme von Tassen. Anderseits bietet wieder die trockene, unverletzliche Schicht der Gelatineplatte, ihre meist ungleich höhere Empfindlichkeit, sowie die Möglichkeit, sie fertig zu beziehen, endlich ihre allgemein bekannte Behandlungsweise so bedeutende Vorzüge, dass sie überall dort zu empfehlen ist, wo der Kollodiumprozess nicht in Ausübung steht und der Dreifarbendruck versucht werden soll.

Gegenwärtig sind ausgezeichnete Kollodiumemulsionen (Albert und Brend'amour) im Handel, und auch die Selbstherstellung derselben ist nach den publizierten Vorschriften[1]) ohne besondere Schwierigkeiten möglich. Die Emulsionen werden entweder mit silberhaltigen Farbstoffen gefärbt, die gleichfalls käuflich sind, oder man versetzt sie, nach dem Vorschlage des Verfassers, mit einem silberfreien Farbstoff und badet sie vor dem Gebrauche in einer $^1/_2$ prozentigen Silberlösung. Bei Farbstoffen, die bei Gegenwart von Silber nicht verwendbar sind, benutzt man, um die Platte längere Zeit feucht zu erhalten, ein Boraxbad, eventuell mit Glycerinzusatz.

Die mit Silber-Farbstoffen sensibilisierten Emulsionen fordern eine sehr reinliche, vorsichtige Behandlung, zeichnen sich aber durch hohe Empfindlichkeit aus, während der Badeprozess weniger Sorgfalt erfordert, überhaupt leichter auszuführen ist.

Zieht man Gelatineplatten vor, so kann man entweder käufliche, farbenempfindliche Platten benutzen oder die Sensibilisierung auch selbst besorgen.

---

1) Dr. J. M. Eder: Handbuch der Photographie.
A. Freiherr von Hübl: Die Kollodiumemulsion.

In manchen Fällen dürfte sich die Verwendung von in Farbstofflösungen gebadeten Gelatineplatten in noch feuchtem Zustande empfehlen.

Der solchen Platten oft gemachte Vorwurf, dass sie unscharfe Bilder liefern, ist nur teilweise berechtigt. Die Gelatineplatte giebt auch trocken exponiert nicht jene geschnittene Schärfe, die der nassen Kollodiumplatte eigen ist; in nassem Zustande exponiert, erscheint zwar die Matrize noch etwas weicher, doch ist bei Halbtonzeichnungen der Unterschied nur wenig bemerkbar. Für die Zwecke des Dreifarbendruckes lassen sich daher nasse Gelatineplatten recht gut verwenden und gewährt den grossen Vorteil, dass man die Platte unmittelbar vor dem Gebrauche, dem jeweiligen Bedürfnis entsprechend, präparieren kann.

Bei der nass exponierten Gelatineplatte kommt jede Sensibilisierung leicht und kräftig zur Geltung, und man erzielt mit Leichtigkeit reine, fehlerfreie, klare Negative. Die gegenwärtig im Handel befindlichen sogen. orthochromatischen, mit Erythrosin sensibilisierten Platten sind zwar für die Herstellung des Rotbildes nicht ganz geeignet, geben aber bei Benutzung passender Filter doch ganz zufriedenstellende Resultate.

Die rotempfindlichen Platten des Handels liefern dagegen tadellose Negative zur Erzeugung des blauen Bildes.

Die als „panchromatisch“ bezeichneten Platten sind rot- und grünempfindlich, eignen sich daher für alle drei Aufnahmen und gewähren den Vorteil, dass man allerdings nur bei kleinen Formaten, mit Hilfe einer Schiebekassette, die drei Bilder nebeneinander auf einer Platte herstellen und gleichzeitig entwickeln kann.

Die Schwierigkeiten, welche man bei der Herstellung der Dreifarbendruck-Negative zu überwinden hat, liegen nicht nur in der notwendigen Regelung der Farben-

empfindlichkeit, sondern auch in der unbedingt erforderlichen Charaktergleichheit der drei Negative. Thunlichst originaltreue Farben sind nur bei bestimmten Mischungsverhältnissen der drei Grundfarben zu erzielen, und da diese von der Abschattierung der Negative abhängen, so muss eine Gleichartigkeit ihrer Gradation gefordert werden. Es ist daher keineswegs zu empfehlen, für ein Negativ eine nasse Badeplatte, für das zweite eine Kollodiumemulsions- und für das dritte vielleicht eine Gelatineplatte zu benutzen, da jedes dieser Verfahren Negative von anderer Gradation liefert; man hat vielmehr die ganze Serie von Aufnahmen mit demselben Prozess, unter denselben Beleuchtungsverhältnissen durchzuführen und denselben Vorgang bei der Entwicklung einzuhalten, um Negative zu erzielen, welche dieselbe Klarheit der Schatten, dieselbe Deckung in den Lichtern, die gleiche Abstufung der Halbschatten aufweisen.

Aus diesem Grunde bietet die Verwendung der gleichen Plattensorte (welche für Rot und Grün sensibilisiert sein muss) für alle drei Aufnahmen gewisse Vorteile.

Um die Beurteilung der Negative bezüglich ihrer Gleichartigkeit zu erleichtern, empfiehlt es sich, neben dem Original kleine Streifen neutralgrauer Papiere von verschiedener Helligkeit anzubringen. Da das Grau alle Strahlen des weissen Lichtes gleichmässig reflektiert, so hängt die photographische Wiedergabe grauer Töne gar nicht von der Farbenempfindlichkeit der Platten oder dem etwa verwendeten Filter ab, sondern wird lediglich durch die, der photographischen Schicht eigentümliche Gradation bedingt.

Recht passend für diesen Zweck sind Platinkopieen, die man durch Belichten unter einer terrassenförmig hergestellten Skala aus Schreibpapier erhalten hat. Eine Skala mit vier bis fünf Abstufungen ist vollkommen

ausreichend. Die drei Negative sind derart zu exponieren und zu entwickeln, dass diese Grauskala richtig und gleich wiedergegeben erscheint.

Solche Grauskalen wird man auch benutzen, um die notwendige Expositionsdauer für die drei Aufnahmen im vornherein zu ermitteln, was unbedingt notwendig ist wenn man die drei Bilder nebeneinander auf einer Platte — mittels der Schiebekassette — herstellt. Man photographiert die Skala mit der von den Filtern bedeckten Platte, entwickelt und korrigiert dann die Expositionszeiten entsprechend dem Aussehen der drei Bilder so lange, bis eine gleiche Wiedergabe der Skala erzielt ist.

Allerdings gelten die so ermittelten Expositionszeiten eigentlich nur für die beim Versuch gewählten Beleuchtungsverhältnisse, da sie von der Farbe und Intensität des Lichtes etwas abhängig sind.

Wenn in dem zu reproduzierenden Bild eine Farbe in grösserer Ausdehnung vertreten ist, so wird das in dieser Farbe zu druckende Negativ meist den Eindruck einer zu kurz exponierten Platte hervorrufen. Man darf sich durch diese, meist beim Gelbdrucknegativ auftretende Erscheinung nicht beirren lassen; das Negativ ist immer richtig exponiert, wenn die Grauskala dieser Bedingung entspricht.

Bezüglich der richtigen Farbentrennung liefert das Aussehen der Negative meist keinerlei Anhaltspunkte; sie unterscheiden sich oft so wenig voneinander, dass man sie fast verwechseln könnte, und machen stets den Eindruck, dass die auszuschaltenden Farben nicht vollkommen unterdrückt wurden.

Auch ein erfahrener Chromolithograph ist nicht im stande, die Negative oder Kopieen derselben bezüglich ihrer Farbenrichtigkeit zu beurteilen, denn die Resultate der Mischung von drei so heterogenen Farben sind ihm ebenso fremd, wie die eigentümlichen Erscheinungen,

die bei der Vereinigung schmalbandiger Pigmente auftreten. Dass Schwarz, Grau und alle Nuancen des Braun aus Gelb, Blau und Rot zu bilden sind, dass die Farbe des Ultramarins aus Purpurrot und Grünlichblau, dass Zinnober aus Purpur und Schwefelgelb entstehen soll, sind Forderungen, die ein im sonstigen Farbendruck geübter Kolorist kaum für erfüllbar hält.

Man kann nur für eine zweckentsprechende Farbenempfindlichkeit der Platten und für passende Strahlenfilter sorgen, und um sich von dem Vorhandensein dieser Bedingungen während der Aufnahme zu überzeugen, bringt man neben dem Original eine aus verschiedenen Farben gebildete Probetafel an, deren Abbildung im Negativ für die Beurteilung der angestrebten Farbentrennung massgebend ist. Die Probetafel soll möglichst differente Farbentöne umfassen, im übrigen ist aber ihre Auswahl ziemlich gleichgültig.

Die einem bestimmten Grundfarbensystem entsprechenden Teilbilder dieser Probetafel werden unter Benutzung theoretisch richtig sensibilisierter Platten, für welche auf spektrographischem Wege die notwendigen Korrektionsfilter bestimmt wurden, dann unter Zuhilfenahme der auf Seite 101 erwähnten theoretisch ausgemittelten Kontrollfarben ein für allemal festgestellt. Von der gelungenen Farbenspaltung überzeugt man sich durch einen Zusammendruck oder besser durch die Bildung eines transparenten Diapositivs. Hat man in dieser Weise richtige Teilbilder der Probetafel gewonnen, so hat man bei jeder für den Dreifarbendruck bestimmten Serie von Aufnahmen das gleiche Aussehen der neben dem Original angebrachten Probetafel anzustreben.

Beilage I zeigt eine solche für diesen Zweck brauchbare Zusammenstellung von Farben, und Beilage IV zeigt die für die beiden Grundfarbensysteme ausgemittelten Teilbilder derselben.

Die Tafel besteht aus neun verschiedenen Farbentönen und ist mit thunlichst lichtechten Farben gedruckt, damit sie längere Zeit als Kontrollobjekt bei den Aufnahmen verwendet werden kann.

Mit Ausnahme von Gelb und allenfalls Ultramarin zeigen alle Felder ein mehr oder weniger unreines Aussehen, wie dies bei halbwegs lichtechten Farben stets der Fall ist. Insbesondere gilt das von dem aus Pariserblau und Chromgelb bestehenden Seidengrün, das schon wiederholt besprochen wurde, sich jedoch von der in der Farbentafel eingetragenen Mischung durch einen höheren Blaugehalt unterscheidet. Zinnober und Chromorange entsprechen annähernd den Seite 101 erörterten Kontrollfarben.

Die verschiedenen, teils reinen, teils weisslichen und schwärzlichen Farben der Probetafel ermöglichen es, den Spaltungs- und Vereinigungsprozess an charakteristischen Beispielen zu verfolgen, bei einiger Übung gestatten sie, aus dem Aussehen ihrer Negative auf das voraussichtliche Resultat Schlussfolgerungen zu ziehen und lassen endlich auch erkennen, bei welchen Teilen des Bildes eine Farbenkorrektur durch Retouche erforderlich sein wird.

Treten bei einem Verfahren Misserfolge auf, so sucht man ihre Ursachen meist in jenem Prozess, den man am wenigsten zu beherrschen im stande ist und dessen Einfluss auf das Schlussresultat man nicht zu durchschauen vermag. So wird ein Misserfolg im Dreifarbendruck fast immer in der Färbung der Filter gesucht, denn die Verwendung farbiger Gläser ist für den Praktiker die scheinbar wichtigste Operation bei der Herstellung der Negative. Dominiert dann im Zusammendruck das Rot oder Blau, so wird auf eine nicht genügende Trennung der Farben geschlossen, und die Filter werden für den Misserfolg verantwortlich gemacht.

Am häufigsten wird über die Unvollkommenheit der roten Platte geklagt; das Rot drängt sich überall vor, die grünen Töne werden durch Rot verdorben, statt Blau erhält man Violett, über dem ganzen Bilde liegt ein roter Ton. Wer die Theorie des Dreifarbendruckes nicht vollständig beherrscht, muss die Ursache dieser „Rotsucht“ in der Unvollkommenheit der roten Druckplatte suchen, und, da ein Abschwächen des Rotdruckes nicht zum Ziele führt, versucht man das Negativ thunlichst hart zu machen, und da auch dieses Mittel erfolglos ist, wird das Grünfilter thunlichst dunkel gewählt. Da ein erneuerter Zusammendruck durchaus nicht das gewünschte Resultat liefert, bleibt nurmehr ein Ausweg — die Retouche des Negativs —, man deckt eben alles Rot aus den grünen und blauen Teilen des Bildes ab.

Die Ursache dieses Misserfolges liegt aber vielleicht gar nicht im Negativ. Wenn das Grün durch den Rotdruck verdorben wird, so ist das aus dem Gelb und Blau gemischte Grün schon so schmutzig, dass es keinen Rotzusatz mehr verträgt. Wählt man statt des sogen. „reinen“ Blau ein entsprechendes Blaugrün, dann ist die im Negativ vorgezeichnete Menge Rot nicht nur unschädlich, sie ist unbedingt nötig, um jene Grünnuancen zu erzielen, die uns das Original vorschreibt.

Bei Basierung auf die theoretisch richtigen Druckfarben spaltet die Photographie z. B. das Seidengrün in die Komponenten: 2 Teile Blaugrün + 2 Teile Gelb + 1 Teil Purpur (Seite 94), und wenn wir Farbstoffe von richtigem Ton und genügender Reinheit wählen, so wird die Mischung auch dasselbe Grün wiedergeben. Wenn wir aber beim Zusammendruck Pariserblau und Chromgelb benutzen, so ist die rote Komponente äusserst störend, denn sie verwandelt das Grün in ein schmutziges Oliv.

Dann muss eben eine ausgiebige Retouche mit in den Kauf genommen werden.

Übrigens ist eine solche beim Dreifarbendruck fast nie zu entbehren, wegen der unvermeidlichen Abschattierungsfehler der Druckformen.

Man muss sich die im Prinzip des Pressendruckes liegenden Mängel stets vor Augen halten und darf die Ursache von Misserfolgen nicht immer im Wesen des Dreifarbenprozesses suchen.

Im schwarzen Druck stören uns die Abschattierungsfehler verhältnismässig wenig; die Konturentreue bleibt stets erhalten, und ob die Abschattierung einmal etwas weicher, ein anderes Mal etwas härter ausfällt, ob ein allgemeiner Ton das ganze Bild bedeckt oder die Lichter etwas breit geraten, ob die Schattendetails mehr oder weniger deutlich ausgebildet sind, schadet wenig dem Gesamteindruck der Reproduktion.

Im Dreifarbendruck aber ist die Abschattierung für die Richtigkeit der Farben massgebend, und wir empfinden es sehr störend, wenn z. B. das Firmament grün erscheint und die braunen Baumstämme violette Schatten zeigen.

Für die Zusammensetzung der Filter ist es kaum möglich, bestimmte Vorschriften aufzustellen, da ihre Beschaffenheit wesentlich von den Eigentümlichkeiten der Platten abhängt und diese, selbst bei derselben Sorte, Schwankungen unterworfen sind.

Auch ist die Bereitung der Filterflüssigkeiten — meist enorm verdünnte Lösungen von Teerfarbstoffen — mit Schwierigkeiten verbunden, denn die färbende Kraft dieser Farbstoffe ist nicht immer die gleiche, und ausserdem fordert sie Einrichtungen, die dem Praktiker nur selten zu Gebote stehen.

Die beiliegende Probetafel bietet jedoch ein bequemes Mittel, um zu einer bestimmten Platte jederzeit das erforderliche Filter zu ermitteln.

Die transparenten Dreifarbenbilder lehren uns, dass die photographische Farbenspaltung gar keine so difficile Operation ist, als man anfänglich geglaubt hat. Bei diesem Verfahren erzielt man nämlich ohne jede Retouche zufriedenstellende Resultate, wenn auch die Sensibilisierung der Platten, die Beschaffenheit der Filter und selbst die Farben der Teilbilder nur annähernd den theoretischen Forderungen entsprechen.

Man darf daher bei der Ausführung des photographischen Prozesses nicht allzu ängstlich sein und keineswegs glauben, dass kleine Unterschiede in der Farbe der Filter oder Art der Sensibilisierung von wesentlichem Einfluss auf das schliessliche Resultat sind.

Plattensensibilisierungen und Strahlenfilter für das Grundfarbensystem: Gelb, Purpur, Blaugrün.

1. Das Negativ für den Gelbdruck.

Die Empfindlichkeit dieser Platte soll zwischen *F* und *G* liegen und einerseits gegen *E*, anderseits gegen Rot verlaufen. Dieser Forderung entspricht die gewöhnliche Gelatineplatte, da die ihr eigentlich fehlende Rotempfindlichkeit durch ihre Empfindlichkeit für das spektrale Violett teilweise ersetzt wird. Thatsächlich werden auch die roten Pigmente infolge ihres Seite 39 besprochenen spektralen Verhaltens von der gewöhnlichen Bromsilberplatte relativ hell wiedergegeben, während gelbe ganz unwirksam sind. Die Aufnahme für den Gelbdruck kann daher mit einer gewöhnlichen Gelatineplatte erfolgen, eine weitere Sensibilisierung derselben oder die Anwendung eines Strahlenfilters ist nicht nötig.

Fordert jedoch das Original eine lange Exposition, so könnte sich die sonst kaum wahrnehmbare Grünempfindlichkeit der Platte bemerkbar machen (Seite 110) und gelbe Pigmente würden nicht mehr ganz wirkungslos sein.

In diesem Falle ist es empfehlenswert, ein Blaufilter vorzuschalten, und da dieses in keinem Falle stört, so kann es bei jeder Aufnahme benutzt werden. Unbedingt notwendig ist dieses Filter, wenn die drei Aufnahmen auf einer Platte ausgeführt werden sollen, wenn also z. B. panchromatische Lumière-, eine Spektrum- oder Perchromo-Platte zur Verwendung kommt.

Man schaltet daher ohne Rücksicht auf die Plattensorte eine 5 mm weite Cuvette, die mit einer Lösung von Höchster Neublau 1 : 5000 gefüllt ist, vor das Objektiv, oder benutzt vor der Platte ein Trockenfilter, das man durch Baden einer mit Gelatine überzogenen Glasplatte in einer Lösung des gleichen Farbstoffes in der Seite 136 angegebenen Weise hergestellt hat. Die Intensität des Filters soll derartig sein, dass es, gegen weisses Papier betrachtet, ebenso satt erscheint, wie das in der Probetafel dargestellte Ultramarinblau.

Etwas anders verhält sich die Kollodiumemulsions-Platte, die fast nur für die violetten Strahlen empfindlich ist. Trotzdem ist sie aber ebenso wie die nasse Jodsilber-Badeplatte für die Erzeugung des Gelbdruck-Negativs recht gut zu brauchen, denn die Aufnahme eines farbigen Objektes mit einer solchen Platte ist von einer mit theoretisch richtiger Sensibilisierung kaum zu unterscheiden.

Übrigens kann man der Kollodiumemulsion die fehlende Blaugrün-Empfindlichkeit leicht durch einen Acridinzusatz erteilen, der auch empfehlenswert ist, weil er die Klarheit und Brillanz der Platte wesentlich fördert.

Man verwendet eine Chlor-Bromemulsion[1]), der man auf 100 ccm 5 bis 10 ccm Acridin *NO*-Lösung 1 : 150 zufügt.

---

1) Man kann die käuflichen Präparate benutzen, oder die Emulsion nach den Angaben des Verfassers selbst herstellen.

Die gefärbte Emulsion ist vollkommen haltbar. Bei voraussichtlich langer Exposition wird die Platte nach dem Erstarren der Schicht in Boraxlösung — 1 Teil kalt gesättigte Lösung mit 3 Teilen Wasser verdünnt — gebadet und nass mit vorgeschaltetem Blaufilter exponiert.

Für die entsprechende Beschaffenheit der Platte gelten nachstehende Anhaltspunkte: Das Chromgelb der Probetafel soll unwirksam im Schwarz sein, das Ultramarin soll ebenso gedeckt wie Weiss erscheinen und die roten Felder, besonders „Geranium", müssen im Halbton wiedergegeben werden.

Die Intensität des Filters regelt die Grünempfindlichkeit. Erscheinen daher die grünen Pigmente zu hell, so verstärkt man das Filter, ist ihre Wirkung zu gering, so verdünnt man die Flüssigkeit.

Ein von der Probetafel, Beilage I, für den Gelbdruck hergestelltes Negativ giebt die aus Beilage IV ersichtliche Kopie.

Wollte man der Platte die theoretisch geforderten Empfindlichkeitsverhältnisse erteilen, so müsste man einen Sensibilisator für das äusserste Rot, z. B. Chlorophyll, benutzen und die violetten Strahlen durch ein blaugrünes Filter abschneiden. Das Verfahren wird dann kompliziert und unsicher, ohne dass es bessere Resultate liefern würde.

2. Das Negativ für den Rotdruck.

Das Seite 97 angegebene Diagramm verlangt für diese Aufnahme eine Platte, die von D bis $F^1/_2\ G$ sensibilisiert ist und ihre Maximalempfindlichkeit im gelblichen Grün des Prismenspektrums besitzt.

Dieser Forderung entspricht sehr gut die mit Eosinsilber sensibilisierte Kollodiumemulsion, wenn man ihre Blauempfindlichkeit durch ein Gelbfilter ausschaltet und ihr spektroskopisches Sensibilisierungsband eventuell durch Zusatz eines bläulich-roten Farbstoffes bis D verlängert.

Doch kann letztere Massnahme in der Praxis auch entfallen. Weniger richtige Resultate liefert die orthochromatische — mit Erythrosin sensibilisierte — Gelatineplatte, die zwischen *E* und *F* ein tiefes Minimum zeigt.

Sehr günstig verhält sich die nach Dr. Miethe mit Äthylrot[1]) sensibilisierte Platte, deren breites Sensibilisierungsband durch ein passendes Filter leicht nach Belieben umgeformt werden kann.

Zur Erzeugung des Negativs für den Rotdruck kann man daher einen der folgenden Wege einschlagen:

1. Eosinsilber-Badeplatte. — 100 ccm Emulsion werden mit 2 ccm der nachstehenden Farbstoffmischung versetzt und die gegossene Platte vor der Exposition in einer $^1/_2$ prozentigen Silbernitratlösung gebadet:

Eosingelbstich 1 : 150	30 ccm,
Rose bengale 1 : 150	10 „

Als Filter dient eine wässerige Lösung von Pikrinsäure 1 : 500 in einer 5 mm weiten Cuvette oder eine mit Naphtholgelb *S* gefärbte Gelatineplatte von gleicher Sättigung (Seite 137).

2. Kollodium-Emulsion mit Eosinsilberzusatz. Die Emulsion wird mit einer neutralen Lösung von Eosinsilber in Ammoniak, z. B. dem käuflichen Farbstoff von Dr. Albert, versetzt und die Platte feucht exponiert.

Die käuflichen Eosinsilberlösungen enthalten zwar einen gelben Farbstoff, der als Strahlenfilter wirkt, doch unterdrückt er gewöhnlich die blauen Strahlen nicht in ausreichendem Masse. Man benutzt daher auch bei Verwendung dieser Sensibilisatoren die oben angegebenen Gelbfilter.

3. Sollen die Aufnahmen auf Gelatineplatten hergestellt werden, so können sogen. orthochromatische oder panchromatische Platten zur Verwendung kommen. Zur

---

1) Die Verwendung dieses Seite 122 erwähnten Farbstoffes ist zum Patent angemeldet.

Korrektion der Sensibilisierung dient in beiden Fällen ein Grünfilter, das nicht nur die Blau- und die eventuelle Rotempfindlichkeit der Platte eliminiert, sondern auch die zu hohe Empfindlichkeit im grünlichen Gelb dämpfen soll.

Man gebraucht zu diesem Zwecke eine 5 mm dicke Schicht einer Lösung von:

Säuregrün 1:150	5 ccm,
Kaliumdichromat 1:75	150 „

oder ein Trockenfilter, das man durch Baden einer gelatinierten Glasplatte in nachstehender Farbstofflösung hergestellt hat (Seite 136):

Echtgrün, bläulich 1:200 . . .	15 ccm,
Naphtholgelb *S. L.* 1:200 . . .	25 „
Methylorange 1:400	30 „
Wasser	100 „
Alkohol	20 „
Essigsäure	5 Tropfen.

Das Abstimmen des Filters wird wesentlich erleichtert, wenn man es aus zwei Glasplatten bildet, von welchen eine mit Echtgrün, die zweite mit Naphtholgelb und Orange gefärbt wird.

4. Zuweilen wird es zweckmässig sein, die Gelatineplatte nach der Sensibilisierung im Farbstoffbade in noch nassem Zustande zu exponieren und es ist dieser Vorgang bei grossen Formaten zu empfehlen. Man badet die Platte etwa 5 Minuten in folgender Lösung:

Wasser	1000 ccm,
Uraninlösung 1:150	25 „
Erythrosinlösung 1:150	6 „
Ammoniak	10 „
Silbernitratlösung 1:10	2 „

spült mit Wasser ab und exponiert durch eine Pikrinsäurelösung 1:500. Derartige Platten zeichnen sich durch hohe Grünempfindlichkeit aus und liefern sehr klare, tadellos abschattierte Negative.

In jedem Falle hat man sich durch eine photographische Aufnahme der Probetafel von der passenden Beschaffenheit des Filters zu überzeugen. Das Chromgelb soll fast ganz, Ultramarin und Zinnober halb gedeckt erscheinen, Grün soll thunlichste Deckung zeigen und Kobalt soll sich von Krapp mit Kobalt deutlich unterscheiden.

Die Kopie eines solchen Negatives ist aus Beilage IV ersichtlich.

Wird Zinnober zu hell oder zu dunkel wiedergegeben, so verstärkt oder schwächt man den grünen Bestandteil des Filters; ist das Blau zu kräftig gedeckt, so vermehrt man das Gelb, fehlt dem Blau die notwendige Deckung, so schwächt man das Gelb im Filter.

3. Das Negativ für den Blaudruck.

Als Sensibilisator für diese Platte ist das Cyanin vollkommen geeignet. Das Sensibilisierungsband soll zwar von *C* langsam nach *D* und dann ziemlich steil gegen *E* abfallen, während das photographische Wirkungsband dieses Farbstoffes erst in der Nähe von *C* beginnt. Doch ist dieser Umstand von geringer Bedeutung, weil es für die Wiedergabe eines Farbstoffes ziemlich gleichgültig ist, ob und inwiefern eine Absorption im äussersten Spektralrot berücksichtigt wird. Es genügt, wenn man den Raum in der Nähe von *C* überhaupt abtastet, wenn auch die Platte das theoretisch richtige Sensibilisierungsband nicht besitzt (Seite 42).

Im übrigen entspricht die Kurve der mit Cyanin sensibilisierten Kollodium-Emulsion sehr gut den theoretischen Forderungen, und man hat lediglich die Wirkung der blauvioletten Stellen zu unterdrücken und die Gelbgrünempfindlichkeit etwas abzuschwächen. Beides erzielt man leicht durch ein Strahlenfilter, bestehend aus einer 5 mm dicken Schicht von

Kaliumplatinchlorür 1 : 8 oder
Aurantia 1 : 1000.

Als Trockenfilter dient eine mit Gelatine überzogene Glasplatte, die man mit Methylorange (Seite 138) derart anfärbt, dass sie, gegen weisses Papier besehen, ebenso satt wie das Orange der Probetafel erscheint.

Die gegenwärtig käuflichen, rotempfindlichen und panchromatischen Gelatineplatten sind gleichfalls sehr gut brauchbar, nur müssen sie hinter einem dunkleren Strahlenfilter exponiert werden.

Als Flüssigkeitsfilter entspricht eine kaltgesättigte Lösung von Kaliumplatinchlorür oder eine Mischung, bestehend aus:

Biebricher Scharlach 1 : 1000 . .	6 ccm,
Aurantia 1 : 1000	10 „

Das Filter soll, gegen weisses Papier betrachtet, etwa dem Zinnober der Probetafel entsprechen.

Zum Färben der Trockenfilter dient nachstehende Farbstofflösung:

Biebricher Scharlach 1 : 200 . . .	40 ccm,
Naphtholgelb *S. L.* 1 : 200 . . .	10 „
Methylorange 1 : 400	10 „
Wasser	200 „
Alkohol	40 „
Essigsäure	10 Tropfen.

Man lässt die Platte so lange in der Flüssigkeit, bis sie intensiv rot — analog dem Flüssigkeitsfilter — gefärbt erscheint.

Will man die Platten selbst sensibilisieren, so benutzt man die Seite 121 von Dr. Miethe angegebene Vorschrift, oder man badet die Platte in einer Lösung von:

Wasser	1000 ccm,
Alkohol	300 „
Cyaninlösung 1 : 500	5 „

der man etwas Ammoniak oder kaltgesättigte Boraxlösung zufügt. — Sie gelangen am besten noch nass zur Expo-

sition. Sollen die Platten trocken verwendet werden, so ersetzt man das Wasser durch eine zehnprozentige Dextrinlösung[1]). Die Platten bleiben zwar nur etwa acht Tage brauchbar, übertreffen aber bezüglich ihrer Rotempfindlichkeit fast alle Platten des Handels.

Zur Kontrolle der photographischen Aufnahme für den Blaudruck dient das Verhalten der Probetafel, welche bei richtiger Farbenspaltung in der aus Beilage IV ersichtlichen Form abgebildet wird. Chromgelb und Zinnober müssen daher wie weiss wirken, Ultramarin fast wie Schwarz, und die grünen Felder sollen im Halbton erscheinen.

Fehlt dem Zinnober die Deckung, so verstärkt man das Filter, erschienen die grünen Felder zu dunkel, so verringert man seine Intensität. Dabei trachtet man, das Filter thunlichst licht zu wählen, um eine zwecklose Verlängerung der Exposition zu vermeiden.

Plattensensibilisierungen und Strahlenfilter für das Grundfarbensystem: Gelb, Krapplack und Pariserblau.

1. Das Negativ für den Gelbdruck.

Entsprechend der Seite 99 aufgestellten Sensibilisierungskurve ist für diese Aufnahme eine Kollodium-Emulsionsplatte oder eine nasse Jodsilberplatte ohne Strahlenfilter vollkommen geeignet. Die Cuvette wird daher mit Wasser gefüllt und bei Verwendung von Trockenfiltern eine farblose Glasplatte vorgeschaltet (Seite 139).

Die der Platte mangelnde Rotempfindlichkeit wird durch ihre Violettempfindlichkeit ersetzt. Die Sensibilisierung mit Chlorophyll u. s. w., sowie das Vorschalten

---

1) Atelier des Photographen 1899, S. 5.

eines Violettfilters ist nicht zu empfehlen, es macht den Prozess kompliziert und bringt keinerlei Nutzen.

Bei Verwendung von Gelatineplatten ist dagegen das Vorschalten eines Violettfilters zweckmässig, da es die Blaugrünempfindlichkeit dämpft und das Empfindlichkeitsmaximum gegen Violett verschiebt. Man benutzt daher eine Methylviolettlösung 1 : 10000 oder eine mit diesem Farbstoff gefärbte Gelatine-Glasplatte (Seite 137).

Das Filter soll, gegen weisses Papier betrachtet, etwa die Sättigung des im Farbenkreis, Beilage II, eingetragenen Violetts zeigen.

Den praktischen Bedürfnissen entspricht aber die gewöhnliche Platte (Gelatine-, Kollodium- oder nasse Jodsilberplatte) ohne jeden Filter vollkommen, und es liegt kein Grund vor, diesen einfachen Vorgang zu komplizieren, weil bei dem prinzipiell unrichtigen Farbensystem kleine Fehler in der Farbentrennung gar nicht zur Geltung kommen. Man kann daher auch ein autotypisches Negativ direkt nach dem Original in den allgemein üblichen Weise mit nassem Kollodium herstellen.

Benutzt man aber eine orthochromatische oder panchromatische Platte, dann muss selbstverständlich das Violettfilter vorgeschaltet werden, um die Wirkung aller Strahlen ausser Blau und Violett zu eliminieren.

Das gleiche Filter entspricht auch, wenn man die Aufnahme mit einer Eosinsilber-Kollodium-Emulsion durchführt. Dieser Vorgang ist zweckmässig, weil er im Vergleiche mit der nicht sensibilisierten Emulsion eine Abkürzung der Expositionszeit gestattet.

2. Das Negativ für den Rotdruck.

Die Herstellung dieses Negatives verlangt eine Platte mit einem breiten Sensibilisierungsbande, das von $D\ ^1/_2\ E$ bis F fast gleiche Intensität besitzt.

a) Dieser Forderung entspricht am besten eine Kollodium-Emulsions-Badeplatte mit Eosin-Uranin-Sensibilisierung. 100 ccm Emulsion werden mit 3 ccm einer Mischung von:

Eosin gelbstich 1 : 150 . . . . . 10 ccm,
Uranin 1 : 150 . . . . . 30 „

versetzt, und die gegossene Platte vor der Exposition in einer $^1/_2$ prozentigen Silbernitratlösung gebadet.

Strahlenfilter: Pikrinsäure 1 : 10000, oder eine analog mit Naphtholgelb *S* gefärbte gelatinierte Glasplatte.

b) Vollkommen brauchbare Resultate geben auch die mit den käuflichen ammoniakalischen Eosinsilberlösungen gefärbten Emulsionen[1]) bei Verwendung des gleichen Strahlenfilters.

c) Die gewöhnlichen orthochromatischen Gelatineplatten zeigen gerade an der Stelle zwischen *b* und *F* statt der verlangten Maximalempfindlichkeit ein ausgeprägtes Minimum und entsprechen daher nur wenig der theoretischen Forderung.

Die gleiche Eigentümlichkeit besitzen auch die verschiedenen panchromatischen Platten des Handels.

Alle diese Platten sind aber in der Praxis recht gut brauchbar, wenn man sie hinter einem genügend satten Grünfilter exponiert, wodurch allerdings die erforderliche Belichtungsdauer sehr bedeutend verlängert wird.

Als Filterflüssigkeit benutzt man die nachstehende Mischung:

Säuregrün 1 : 150 . . . . . 2 ccm,
Pikrinsäure 1 : 100 . . . . . 40 „

Die Flüssigkeit wird in 5 mm dicker Schicht vorgeschaltet. Trockenfilter von passender Färbung erhält

---

1) Emulsion von Dr. Albert mit Farbstoff *P* und für direkte Rasteraufnahmen Farbstoff *A*, und die Emulsion von Brend'amour mit Farbstoff Alpha.

man durch Baden einer mit Gelatine überzogenen Glasplatte (Seite 136) in folgender Farbstofflösung:

Echtgrün, bläulich 1:200 . . .	30	ccm,
Naphtholgelb *S. L.* 1:200 . . .	45	„
Alkohol	40	„
Wasser	200	„
Essigsäure	10	Tropfen.

Es ist jedoch unbedingt empfehlenswert, das Filter durch Versuche mit der Probetafel für die Plattenempfindlichkeit abzustimmen.

Eine Kopie des Negatives soll das aus Beilage IV ersichtliche Resultat geben.

Chromgelb muss fast wie Weiss wirken, dabei soll aber Ultramarin ziemlich hell erscheinen, und die grünen Felder sollen im Negativ thunlichst gedeckt sein.

Eine Erhöhung des Gelbgehaltes im Filter verstärkt die Wirkung der gelben und orange Farbstoffe, schwächt aber jene der blauen, und eine Veränderung des grünen Filteranteils beeinflusst die Deckung des Orange und Rot.

Erscheint das blaue Feld zu wenig gedeckt, so enthält das Filter zu viel Gelb, fehlt es aber im Chromgelb an Deckung, so ist der Gelbgehalt zu gering. Der Gelbgehalt des Filters ist somit derart zu wählen, dass im Feld „Chromgelb“ eben noch genügende Deckung erzielt wird. Man korrigiert dementsprechend die Farbstofflösung, oder hilft sich durch Auswaschen oder Nachfärben der Filterplatte. Eine Veränderung der Grünfärbung dürfte kaum notwendig sein, nur wenn Zinnober zu hell erscheint, muss der Grüngehalt vermehrt werden.

Das Abstimmen des Trockenfilters wird wesentlich erleichtert, wenn man es aus zwei übereinander gelegten Glasplatten bildet, von welchen eine in der oben angegebenen Weise, aber nur mit Echtgrün, und die zweite mit Naphtholgelb gefärbt wird.

Die vollständige Deckung des Feldes „Seidengrün“ kann in keiner Weise erzwungen werden, denn dieses Grün besteht ja aus etwa 1 Teil Reingrün und 3 Teilen Schwarz (Seite 71).

Ungleich besser als die erwähnten Platten ist für die Erzeugung des Rotdruck-Negatives die mit Äthylrot sensibilisierte Platte geeignet, was aus ihrem Sensibilisierungsband ohne weiteres ersichtlich ist. Auch bei vorgeschaltetem Grünfilter — das relativ hell, aber etwas blaustichiger gewählt werden muss — fordert sie eine nur kurze Exposition und übertrifft in dieser Beziehung jede der bisher bekannten Plattensorten.

Sehr gute Resultate liefert auch die mit Uranin sensibilisierte, feucht zu exponierende Gelatineplatte (Seite 154) hinter einem hellen Pikrinsäure-Säuregrünfilter, dessen Färbung und Sättigung in der oben angegebenen Weise leicht zu ermitteln ist.

Auch bei der Erzeugung dieses Negativs empfiehlt sich die Wahl eines thunlichst einfachen Verfahrens und das Beiseitelassen aller Künsteleien, denn eine auf kompliziertem Wege vielleicht erzielte etwas bessere Farbenzerlegung kommt bei dem wiederholt schon besprochenen Mangel der Farben und Druckplatten doch nicht zur Geltung.

Schliesslich soll nochmals betont werden, dass die Klagen über den störenden Rotdruck nur zum geringsten Teile in mangelhaften Filtern und Platten zu suchen sind, dass sie auch nicht in der Beschaffenheit der roten Druckfarbe liegen, sondern fast ausschliesslich durch die Unvollkommenheit des Blaudruckes — Mangel an Reinheit und ungenügendem Grünstich — bedingt werden.

3. Das Negativ für den Blaudruck.

Das Diagramm Seite 99 fordert eine Sensibilisierungskurve mit dem Maximum im Gelborange und langsamem Abfall zum Blaugrün. Die mit Cyanin sensibilisierte

Kollodium-Emulsion entspricht dieser Bedingung, wenn man die Seite 155 gemachten Erwägungen bezüglich der Sensibilisierung für den Raum *C* bis *D* gelten lässt. Man wird nur ein heller gefärbtes Orangefilter verwenden, um den Verlauf der Sensibilisierungskurve im Grün nicht zu stören.

Das Cyanin, das man in der Praxis gern vermeidet, kann auch durch Bengalrosa[1]), Cyklamin, Rhodamin 3 *B* u. s. w. ersetzt werden. Diese Sensibilisatoren haben aber ein relativ dunkles Filter notwendig (10 ccm Aurantia 1:1000 und 10 ccm Biebricher Scharlach 1:1000), um das Rot genügend hell wiederzugeben, wodurch die Empfindlichkeit der Platte für Grün herabgesetzt wird, und solche Pigmente erscheinen daher in der Reproduktion leicht zu blaustichig.

Sehr gut brauchbar sind die mit Cyanin nach den Vorschriften Seite 121 und 156 sensibilisierten Gelatineplatten, dann aber auch alle rotempfindlichen und panchromatischen Platten des Handels.

Hat man sich für einen Vorgang entschieden, so macht man mit dem Seite 156 angegebenen Rotfilter (Biebricher Scharlach und Aurantia, Kaliumplatinchlorür oder Trockenfilter) eine Aufnahme der Probetafel, in der Zinnober fast ebenso wie Weiss, Ultramarin wie Schwarz, und das mit Seidengrün beschriebene Feld thunlichst gedeckt erscheinen soll.

Ob die letztere Forderung zutrifft, ist aus der Aufnahme nicht erkennbar, und kann nur auf dem Wege des Versuches ermittelt werden.

Da das Verstärken des Filters, resp. eine Vermehrung des Scharlachzusatzes die Deckung des roten, das Abschwächen jene der grünen Felder vermehrt, so lässt sich durch einige Probeaufnahmen leicht jene Filter-

---

1) Farbstoff *R* von Dr. Albert.

intensität ermitteln, die den drei Bedingungen gleichmässig Rechnung trägt.

Die Flüssigkeitsschichten können selbstverständlich durch Trockenfilter von gleicher Sättigung ersetzt werden, wobei man den Seite 156 angegebenen Weg einschlägt.

Es muss auch hier empfohlen werden, den jeweilig einfachsten, bequemsten und sichersten Weg einzuschlagen und ein gut moduliertes, tadellos abschattiertes Negativ anzustreben, das im grossen und ganzen eine korrekte Farbenspaltung aufweist, wenn es auch in dieser Beziehung gewisse Feinheiten vermissen lässt.

b) Die Herstellung und Vereinigung der Teilbilder.

1. Transparente Dreifarbenbilder.

Aus transparenten Folien hergestellte Photochromieen haben zwar für die Praxis einen nur untergeordneten Wert, da ihre Herstellungsweise eine sehr zeitraubende ist, immerhin verdienen sie aber als Projektionsdiapositive eine gewisse Beachtung, und wertvoll sind sie für das Studium des Dreifarbendruckes, da sie von allen durch das Prinzip des Farbendruckes bedingten Fehlern frei sind.

Bei dem Übereinanderlegen transparenter Bilder kommt jedes derselben voll zur Geltung, und in dieser Beziehung gewährt das Verfahren entschieden eine bessere Garantie für die richtige Wiedergabe der Originalfarben, als der Dreifarbendruck. Die Schwierigkeiten, welche sich aber auch bei diesem Prozess der Entstehung eines neutralen Grau entgegenstellen, kann man erst beurteilen, wenn man Gelatinefolien mit drei im Farbenkreis etwa gleich weit voneinander abstehenden Pigmenten derart zu färben trachtet, dass sie, übereinander gelegt und in der Durchsicht betrachtet, farblos erscheinen. Erst nach längeren Versuchen wird man zu einem halbwegs

zufriedenstellenden Resultat gelangen; der geringste Überschuss einer Farbe wird schon sehr deutlich empfunden, und die erzielte Mischung kann in der Regel nur als grau gelten, wenn sie von lebhaften Farben umgeben ist.

Solche Kombinationen erscheinen auch nur bei einer ganz bestimmten Beleuchtung wirklich grau, und schon geringe Unterschiede in der Farbe des Lichtes machen sich in hohem Masse bemerkbar. Wurden die Färbungen z. B. für Sonnenlicht abgestimmt, so entspricht die Kombination nicht mehr, wenn man sie bei trübem Wetter oder Abendbeleuchtung betrachtet; ein in der Nähe befindliches gelbliches Gebäude stört schon das Gleichgewicht der Farben, und bei künstlicher Beleuchtung zeigt sie nur ein gelbliches oder rötliches Braun (Seite 62).

Die allgemeine Bewunderung, welche transparente Dreifarbenbilder erregen, ist auch weniger durch ihre Originaltreue, als vielmehr durch das Wohlgefallen an den farbenprächtigen Bildern bedingt, die so bestechend wirken, dass man gern geneigt ist, gewisse ihnen anhaftende Mängel mit in den Kauf zu nehmen. In dieser Beziehung mag an die Glasmalerei erinnert werden. Trotz der falschen Farbengebung, der harten Konturen, der fehlenden Übergangstöne kommt ihnen eine blendende Gesamtwirkung zu, und sie erregen unser Gefallen vielleicht in höherem Masse, als das von diesen Fehlern durchaus freie Gemälde. Das vielleicht fehlende Grau und das falsche Braun entschuldigt man im transparenten Bild, die leuchtenden Farben lassen jede Kritik verstummen, während im Dreifarbendruck gerade auf die Wiedergabe solcher Töne ein wesentliches Gewicht gelegt werden muss, denn sie vereinen die Farben zu einem homogenen Ganzen und bestimmen hauptsächlich den Charakter und die Stimmung des Bildes.

Von diesem Standpunkte ist der Wert der transparenten Bilder zu beurteilen; auch wenn sie bezüglich

der Originaltreue nur sehr mässigen Ansprüchen genügen würden, ihre Farbenpracht sichert ihnen stets den allgemeinen Beifall.

Bei der Herstellung solcher Bilder handelt es sich zunächst um die Wahl eines passenden Trägers für die drei gefärbten Teilbilder. Sehr gut entsprechen diesem Zwecke dünne Glimmer- oder Celluloïdfolien. Erstere sind wohl wesentlich teuerer, besitzen aber den Vorteil, dass sie stets vollkommen eben bleiben, und weder durch heisses Wasser, noch durch trockene Wärme irgend eine Veränderung erleiden. Celluloïdblätter müssen, wenn sie sich nicht verziehen sollen, mindestens 0,2 mm dick sein, während bei Glimmerblättchen eine Stärke von 0,05 mm ausreichend ist. Da bei dem in Rede stehenden Verfahren durch die transparente Unterlage kopiert werden muss, so erzielt man auf Glimmer viel schärfere Bilder als auf Celluloïd.

Die Bilder werden auf diesen Folien mittels lichtempfindlicher Chromgelatine hergestellt und dann mit Lösungen von Teerfarbstoffen gefärbt.

Die farblosen Gelatinebilder.

Die Celluloïd- oder Glimmerfolien werden mit Gelatine überzogen, im Chrombade sensibilisiert, nach dem Trocknen verkehrt unter dem Negativ belichtet und die Kopie mit warmem Wasser entwickelt.

Um einerseits den Entwicklungsprozess kontrollieren zu können und um anderseits die Entstehung eines zu hohen Reliefs zu vermeiden, verwendet man Gelatineschichten, die einen Zusatz von Bromsilber erhalten haben. Man benutzt eine in der üblichen Weise hergestellte Bromsilber-Emulsion, bei deren Bereitung auf je 30 g Gelatine 10 bis 12 g Silbernitrat verwendet wurden, wäscht sie nach dem Erstarren mit kaltem Wasser und verwendet sie zum Überziehen der Folien.

Da das Bromsilber hier nicht die Rolle einer lichtempfindlichen Substanz, sondern lediglich die eines Pigmentes spielt, so kann die Bereitung der Emulsion, sowie das Überziehen des Papieres bei vollem Tageslicht vorgenommen werden.

Gegenwärtig werden solche mit Bromsilbergelatine überzogene Folien in den Handel gebracht[1]).

Die Sensibilisierung der Folien erfolgt in einer Lösung von Ammoniumbichromat 1 : 50. Sie sind in die Flüssigkeit ganz einzutauchen, etwa $^1/_4$ Stunde darin zu belassen und werden dann zum Trocknen aufgehängt. Dabei ist es empfehlenswert, die Folien nach dem Bade zwischen reines, gut abgewischtes Saugpapier von dem Überschuss an Flüssigkeit zu befreien.

Das Trocknen muss in einigen Stunden beendet sein, und die sensibilisierten Folien bleiben nur 1 bis 2 Tage brauchbar.

Vor dem Kopieren reinigt man ihre Rückseite mit Hilfe eins feuchten Tuches, um etwa vorhandene Reste der Sensibilisierung zu entfernen.

Das Kopieren erfolgt, wie schon erwähnt, durch die Folien, daher diese nicht mit der Schicht-, sondern mit der Rückseite auf das Negativ zu legen sind. Man kopiert im Schatten, und nur bei sehr harten Negativen benutzt man direktes Sonnenlicht.

Nach dem Kopieren werden die Bilder in warmem Wasser entwickelt, was langsam und bei Celluloïdfolien bei thunlichst niederer Temperatur erfolgen muss, um eine Deformation zu verhindern. Nach beendeter Entwicklung bringt man die Folien in eine Lösung von Fixiernatron, der man etwas rotes Blutlaugensalz zugefügt

---

1) Die Glimmerwarenfabrik M. Raphael in Breslau liefert Bromsilber-Glimmerfolien, und bei Dr. A. Hesekiel in Berlin sind für diesen Zweck geeignete Celluloïdfilms erhältlich.

hat, um die etwa vorhandene geringe Menge metallischen Silbers, die dem Gelatinebild eine bräunliche Farbe erteilen würde, zu entfernen. Das weisse Bromsilberbild verschwindet in der Fixiernatronlösung, und es resultiert ein vollkommen farbloses Gelatinebild. Man wäscht es mit Wasser und bringt es entweder in noch nassem Zustande, oder nach dem Trocknen in die Farbstofflösungen.

Statt mit Bromsilbergelatine überzogene Folien zu benutzen, kann man auch die Negative auf Bromsilbergelatine-Papier kopieren und das Bild in gleicher Weise wie beim Pigmentprozess auf eine transparente Unterlage übertragen. Dieser Vorgang ist empfehlenswert, wenn man eines der drei Bilder auf Glas herzustellen wünscht.

Das käufliche Bromsilberpapier ist für diesen Zweck nicht geeignet, da die Gelatineschicht zu dünn ist, doch unterliegt es gar keinen Schwierigkeiten, ein Papier mit dickerem Aufguss — etwa 20 g Gelatine auf einen Bogen 50×70 cm — herzustellen. Die Bereitung der Emulsion, die reichlich Bromsilber enthalten muss, sowie das Überziehen und Trocknen des Papieres kann bei Tageslicht erfolgen.

Das Sensibilisieren des Papieres, sowie das Kopieren und Entwickeln der Bilder wird wie beim Pigmentverfahren durchgeführt, nur darf man, um eine Ausdehnung der Kopieen beim Übertragen zu vermeiden, dieselben nicht, wie sonst üblich, in kaltem Wasser weichen, sondern sie nur auf der Gelatineseite (mit Hilfe eines breiten Pinsels) feuchten und rasch auf die schon vorbereitete Glasplatte aufquetschen.

Nach dem Entwickeln mit warmem Wasser wird in der oben angegebenen Weise das Bromsilber entfernt und dann mit Wasser gewaschen, worauf die Bilder gefärbt werden können.

Nach einem von der Firma A. & L. Lumière[1]) angegebenen Verfahren kopiert man gleichfalls auf chromiertem Gelatinepapier, das jedoch mit einer Schellacklösung imprägniert wurde, um beim Übertragen des Bildes eine Verzerrung desselben zu vermeiden. Das Übertragen erfolgt dann auf eine mit Kollodium überzogene Glasplatte, die als provisorischer Träger dient.

Die Gelatineschicht erhält einen Zusatz von Cochenillerot, wodurch die Bildung eines zu hohen Reliefs vermieden wird. Der Farbstoff, der das vom Verfasser benutzte Bromsilber ersetzt, geht beim Entwickeln des Bildes vollkommen in Lösung, so dass man ein farbloses Gelatinebild erhält.

Die auf der Kollodiumschicht der Glasplatte liegende Gelatinebilder werden gefärbt, nach dem Trocknen auf gummiertes Papier übereinander übertragen und schliesslich werden die vereinten Bilder auf eine Glasplatte, welche nun die definitive Unterlage bildet, abgezogen.

Der Vorgang ist wegen der notwendigen mehrfachen Übertragung etwas kompliziert, fordert eine gewisse Geschicklichkeit und kann kaum als leicht ausführbar bezeichnet werden[2]).

Das Färben der Gelatinebilder.

Der Färbeprozess besteht nicht in einem mechanischen Ansaugen der Farbstofflösung, sondern es handelt sich dabei um eine Art chemischer Verbindung, welche die Gelatine mit den Farbstoffen eingeht. Allerdings ist diese Verbindung nur eine sehr lose, da längeres Waschen die Gelatine wieder entfärbt.

Für die Annahme eines chemischen Prozesses sprechen folgende Erscheinungen:

---

1) Atelier des Photographen 1902, S. 35.

2) H. Hinterberger: Über das Lumièresche Verfahren der Parbenphotographie. Photogr. Mitteilungen 1902, S. 53.

1. bringen selbst sehr verdünnte Farbstofflösungen bei längerer Einwirkung eine sehr intensive Färbung der Gelatine hervor, und

2. kommt den Teerfarbstoffen ein sehr verschiedenes, durch ihren chemischen Charakter bedingtes Verhalten gegen Gelatine zu. Viele derselben bewirken nämlich in verdünnter Lösung gar keine Färbung, andere färben nur bei Gegenwart einer Säure und wieder andere nur dann, wenn ihre Lösung alkalisch reagiert. Die Gelatine spielt also bald die Rolle einer Säure, bald die einer Base, und oft vermag sie den salzartigen Farbstoff nicht zu zerlegen und verbindet sich mit der Farbbase oder Farbsäure nur dann, wenn man diese durch eine Säure, resp. ein Alkali in Freiheit setzt.

Im allgemeinen gelingt jedoch das Färben mit einem sauren Farbstoff ungleich besser und sicherer als mit einem basischen, daher man die Verwendung der ersteren anzustreben hat. Besonders brauchbar für den gedachten Zweck sind die Farbstoff-Sulfosäuren.

Die Eosine und Rhodamine sind auch in neutraler Lösung verwendbar.

Aus einer grossen Zahl von Farbstoffen wurden die nachstehenden als passend im Tone und geeignet für die Färbung der Gelatinebilder ausgewählt:

Für das rote Bild: Erythrosin in neutraler Lösung,
„ „ gelbe „ : Naphtholgelb S. L.[1]) } in saurer
„ „ blaue „ : Echtgrün bläulich[2]) } Lösung.

Je 1 g dieser Farbstoffe wird in 200 ccm Wasser gelöst und als konzentrierte Lösung in Vorrat gehalten. Die Farbstoffbäder besitzen folgende Zusammensetzung:

---

1) Bezogen von der Aktiengesellschaft für chemische Industrie in Basel.

2) Von der Farbenfabrik vorm. F. Bayer & Co. in Elberfeld

Rot:	Wasser	100 ccm,
	Erythrosinlösung 1 : 200 . . .	5 „
	Alkohol	10 „
Blau:	Wasser	100 ccm,
	Echtgrün 1 : 200	20 „
	Alkohol	10 „
	Eisessig	10 Tropfen.
Gelb:	Wasser	100 ccm,
	Naphtholgelb S. L. 1 : 200 . . .	10 „
	Alkohol	10 „
	Eisessig	10 Tropfen,
	gesättigte Chromalaunlösung . .	5 ccm.

Will man dem gelben Bild eine tiefere Färbung erteilen, so fügt man der Lösung noch 5 bis 10 ccm Methylorange 1 : 200 zu.

Die zu färbenden Bilder werden in einer Tasse mit der Farbstofflösung übergossen und bis zur satten Färbung darin belassen, wozu einige Stunden erforderlich sind.

Je konzentrierter die Farbstofflösung verwendet wird, desto rascher wirkt sie, desto flacher wird aber das Bild; sehr verdünnte Lösung muss man zwar mehrere Stunden wirken lassen, sie liefert aber dann sehr brillante und in den Tiefen reich detaillierte Bilder. Behandelt man das gefärbte Bild mit Wasser oder besser mit einer verdünnten Boraxlösung, so wird der Farbstoff wieder der Gelatine entzogen, und zwar bleichen zuerst die am wenigsten gefärbten Stellen. Gestützt auf diese Thatsachen hat man es daher vollkommen in der Hand, den Bildern jeden beliebigen Charakter zu erteilen und sie so lange zu verändern, bis sie, versuchsweise übereinander gehalten, den gewünschten Effekt zeigen.

Dabei lässt man sich hauptsächlich von dem Aussehen der Grauskala leiten, nur hat man zu beachten, dass sich die Färbung der Gelatine beim Trocknen wesentlich ändert, das blaue Bild wird grünstichiger, das

rote nimmt einen etwas bläulicheren Ton an, nur das gelbe bleibt fast unverändert. Es ist daher empfehlenswert, in folgender Weise vorzugehen: Zuerst färbt man das blaue und rote Bild derart, dass nach dem Trocknen die Grauskala in allen Stufen eine einheitliche blaue Farbe zeigt, die zu jener des gewählten Gelb komplementär ist; es ist dies die Farbe einer alkoholischen, mässig verdünnten Cyaninlösung (Seite 101). Dann wird das dritte Bild derart gelb gefärbt, dass es die blaue Skala zu Grau ergänzt.

Nach beendetem Färbeprozess hebt man die Bilder aus der Lösung, lässt gut abtropfen und bringt sie in nachstehende Flüssigkeit:

Wasser	1000 ccm,
Alkohol	100 „
Eisessig	10 „

Diese Flüssigkeit entfernt allen von der Gelatine nicht gebundenen Farbstoff, ohne die Färbung der Bilder abzuschwächen. Bei Verwendung von Glimmerfolien fügt man obiger Lösung noch 50 ccm Glycerin zu, um ein Abspringen der Gelatineschicht beim Beschneiden der Folien zu verhindern.

Lumière giebt nachstehende Vorschriften für die Zusammensetzung der Bäder[1]):

Rot:	Wasser	1000 ccm,
	Erythrosinlösung 3 : 100 . . .	25 „
Blau:	Wasser	1000 ccm,
	Diaminblau 3 : 100	50 „
	Gummiarabikumlösung 15 : 100 .	70 „
Gelb:	Wasser	1000 ccm,
	Chrysophenin G.	4 g,
	Alkohol	200 ccm.

1) Sämtliche Farbstoffe, sowie alle für die Ausführung dieses Verfahrens notwendigen Materialien sind bei der Firma A. & L. Lumière in Lyon erhältlich.

Um eine etwa zu satt ausgefallene Färbung abzuschwächen, wäscht man das gelbe Bild mit Wasser, das rote mit Wasser, dem etwas Ammoniak zugefügt wurde, und das blaue mit einer $^1/_2$ bis einprozentigen Gummiarabikum- oder Gelatinelösung.

Das Zusammensetzen der Glimmer- oder Celluloïdbilder erfolgt ohne Zwischenmittel durch einfaches Übereinanderlegen und Fixieren mit gummierten Papierstreifen, doch kann man die Bilder auch mit, durch Petroleumbenzin verdünntem Canadabalsam gegenseitig verbinden, wodurch die Farben etwas lebhafter werden.

Was die Haltbarkeit der Bilder anbelangt, so ist zu berücksichtigen, dass das gelbe und blaue Teilbild der Einwirkung des Lichtes recht gut widerstehen, das rote Bild aber rasch ausbleicht. Es wäre daher wünschenswert, das Erythrosin durch einen lichtechten Farbstoff zu ersetzen. Man kann jedoch die Haltbarkeit dieses Bildes sehr bedeutend erhöhen, wenn man es nach beendeter Färbung in einer fünf- bis zehnprozentigen Kupfervitriollösung badet und dann mit Wasser abspült. Befolgt man diese Vorsichtsmassregel, so dürfte das Dreifarbenbild, selbst bei jahrelanger Einwirkung von zerstreutem Tageslicht, kaum eine Veränderung erfahren.

Dr. A. Hesekiel[1]) hat das eben besprochene Verfahren dadurch modifiziert, dass an Stelle der blauen Folie ein mit Blutlaugensalz und Eisenchlorid blau gefärbtes Chlorsilberdiapositiv benutzt wird. Man kopiert zu diesem Zwecke das betreffende Negativ auf eine gewöhnliche Chlorsilbergelatine-Platte (mit Entwicklung), badet dann das Positiv in einer Lösung von rotem Blutlaugensalz 1 : 10, bis das Bild vollständig ausgebleicht

---

1) Dr. A. Hesekiel in Berlin bringt sämtliche Apparate und Materialien für die Erzeugung transparenter Dreifarbenbilder in den Handel.

ist, wäscht reichlich mit Wasser und behandelt mit einer Lösung von Eisenchlorid.

Das Bild nimmt dabei eine blaue Farbe an, erscheint aber wegen des noch vorhandenen Chlorsilbers schmutzig und trüb. Man legt es daher nach oberflächlichem Abspülen in eine Lösung von Fixiernatron, worin man es 1 bis 2 Minuten belässt. Eine etwa vorhandene gelbliche Färbung beseitigt man durch kurzes Baden in verdünnter Schwefelsäure 1 : 50.

Obwohl das zu wenig grünstichige Blau solcher Bilder den theoretischen Forderungen nicht entspricht, und sich aus diesem Grunde in der Kombination oft ein Mangel von reinem Grün bemerkbar macht, so sind die Resultate doch recht zufriedenstellend, und da überdies der Vorgang bequem ist und das Diapositiv sich durch besondere Schärfe auszeichnet, so ist das Verfahren in vielen Fällen sehr empfehlenswert.

Das Verfahren von Dr. Selle[1]) wurde nur teilweise veröffentlicht. Eine mit Kollodium überzogene Glasplatte wird mit chromierter Gelatinelösung übergossen und nach dem Trocknen unter dem Negativ kopiert. Dann wäscht man mit kaltem Wasser und bringt die Platte in die Lösung eines Farbstoffes, der nur an jenen Stellen anfallen soll, die durch den Einfluss des Lichtes verändert wurden.

Das daselbst vorhandene Chromoxyd soll nämlich als Beize wirken und den Farbstoff festhalten.

Nach dem Trocknen werden die das farbige Bild tragenden Kollodiumhäutchen von der Glasplatte abgezogen und durch ein Klebemittel miteinander verbunden.

Das Verfahren würde sich durch besondere Einfachheit auszeichnen und sichert das Entstehen vollkommen gleich dimensionierter, daher sich scharf deckender Bilder.

---

1) Phot. Rundschau 1899, S. 92.

Es scheint jedoch, dass auf diesem Wege satt gefärbte Kopieen mit reinen Lichtern kaum zu erzielen sind, weil das Verhalten der belichteten und der unveränderten Chromatgelatine gegen Farbstoffe zu wenig verschieden ist.

Die Möglichkeit des Selleschen Prozesses dürfte überhaupt nicht in der beizenden Wirkung des Chromoxydes zu suchen sein, sondern lediglich durch den Unterschied in der Quellbarkeit von belichteter und unbelichteter Gelatine bedingt sein[1]).

Albert Hofmann[2]) benutzt zur Herstellung der drei monochromen Positive rote, gelbe und blaue Pigmentpapiere. Man sensibilisiert sie im Chrombad, kopiert unter den Negativen und entwickelt auf Glasplatten, die als provisorische Bildträger dienen. Nachdem man sich durch Übereinanderlegen der Bilder von der richtigen Farbenwirkung überzeugt hat, zieht man sie mit einem passenden Übertragungspapier ab und vereint sie auf einer Glasplatte. Der Übertragungsprozess ist dem von Lumière angegebenen ähnlich und stellt an die Geschicklichkeit des Operateurs einige Anforderungen.

Die Verwendung farbiger Pigmentpapiere für den Dreifarbenprozess ist naheliegend und keineswegs neu, da sie schon von Ducos du Hauron zu gleichen Zwecken benutzt wurden. Man ist bei diesem Vorgang in der Farbenwahl ziemlich beschränkt und auf die Verwendung pulveriger Pigmente, wie Carmin, Pariserblau, Chromgelb u. s. w., angewiesen. Wasserlösliche Teerfarbstoffe werden bei der Entwicklung des Bildes aus der Gelatine ausgelaugt, oder aber machen sie die Gelatine unlöslich und sind aus diesem Grunde nicht verwendbar.

---

1) Phot. Rundschau 1899, S. 239.

2) Albert Hofmann, Die Praxis der Farbenphotographie. Otto Nemnich 1900.

2. Der Dreifarbendruck.

Die Druckfarben. Sollen die Teilbilder durch Pressendruck auf Papier vereint werden, so müssen die der Drucktechnik entsprechenden sogen. fetten Farben, das sind mit Leinölfirnis verriebene Pigmente, zur Verwendung kommen.

Die Teerfarbstoffe können nicht direkt benutzt werden, denn teils sind sie wasserlöslich, was beim Stein- und Lichtdruck ganz unzulässig wäre, teils zeigen sie auch nach sorgfältigem Verreiben nur eine schmutzig-schwärzliche Färbung, da die einzelnen Teilchen vom Firnis nicht durchdrungen, also nicht transparent werden, und endlich muss jedes Pigment auch einen seinem Färbevermögen entsprechenden Körper besitzen, damit der Firnis in einer, der Verwendungsweise der Farbe entsprechenden Weise verdickt wird. Man führt daher die Teerfarbstoffe in wasserunlösliche und in Firnis leicht verteilbare Verbindungen über, indem man sie mit rein weissen, festen, pulverigen Substanzen, wie z. B. Kaolin, Gips, Zinkweiss, Stärke u. s. w., vereint. Man bezeichnet solche für die Drucktechnik brauchbare Verbindungen als Lackfarben. In vielen Fällen ziehen die genannten Substanzen, die man Farbstoffträger nennt, mit Begierde den Farbstoff aus seinen Lösungen an sich; so kann man z. B. Rhodamin- oder Methylviolett-Lacke herstellen, indem man einfach das Kaolin in die entsprechenden Farbstofflösungen einträgt. Viel besser ist es aber, die Lösung mit einem Thonerdesalz zu mischen und dann durch einen geeigneten Zusatz Thonerdehydrat auszuscheiden, das sich im Entstehungszustande mit dem Farbstoff vereint. Man mischt z. B. den Farbstoff mit einer Lösung von Thonerde-Natron und trägt dann schwefelsaure Thonerde ein.

Um Lackfarben von hohem Färbevermögen herzustellen, wird die Farbstofflösung mit dem Träger ge-

mischt und dann eine Substanz zugefügt, welche den Farbstoff in fester Form ausscheidet. Bei sauren Farbstoffen, z. B. den Eosinen, benutzt man Bleizuckerlösung, wodurch unlösliches Eosinblei auf das vorhandene Kaolin, den Gips u. s. w. ausgeschieden wird. Azofarbstoffe fällt man mit Alaun oder Barytsalzen, die Farbstoffe der Triphenylmethan-Reihe mit Tannin u. s. w.

Hazura und Hruza[1]) haben über die Herstellung von Lackfarben für die Zwecke des Dreifarbendruckes eingehende Versuche gemacht; sie empfehlen als Träger, um thunlichst lasierende Farben zu erzielen, Kaolin oder Gips, und fällen die Farbstoffe aus ihren mit Brechweinstein versetzten Lösungen durch Tannin.

Allen Farbstofflacken fehlt, sobald sie in Firnis verteilt und auf Papier aufgetragen werden, jenes Feuer, das die Farbstofflösungen zeigen. Einerseits sind sie an doch nicht völlig durchsichtige Teilchen gebunden, wodurch die Schicht schwärzlich getrübt wird, dann ist der Firnis niemals ganz farblos, sondern etwas gelblich gefärbt, was die Reinheit, besonders der blauen und violetten Farben, beeinträchtigt, und endlich wird durch die fette Beschaffenheit der Druckfarbe ein Teil der Papierfasern transparent gemacht, daher die Papieroberfläche die rein weisse Färbung verliert. Überzieht man das Papier mit einer gefärbten Kollodium- oder Gelatineschicht, so erhält man ungleich reinere und brillantere Färbungen als jene, die der Aufdruck mit Firnisfarbe liefert, und auf Papieren, die mit einer Gelatine-Kreideschicht überzogen wurden, erscheinen die Druckfarben viel brillanter als auf gewöhnlichen, den Firnis ansaugenden Papiersorten.

Gegenwärtig werden für den Druck brauchbare, aus Teerfarbstoffen hergestellte Lacke von jedem beliebigen Farbenton in den Handel gebracht, und sobald man

---

1) Photographische Korrespondenz 1893, S. 375.

auf ihre Lichtechtheit kein Gewicht legt, ist es leicht, eine für den Dreifarbendruck passende Auswahl zu treffen.

Lichtechte Druckfarben von der gewünschten Reinheit existieren vorläufig nicht, und insbesondere giebt es kein reines lichtechtes Blaugrün.

Es hat auch keinen Wert, auf die Lichtechtheit eines oder des anderen Farbstoffes ein besonderes Gewicht zu legen. Es liegt im Wesen des Dreifarbendruckes, dass das Verblassen auch nur einer Farbe das Aussehen des ganzen Bildes in hohem Grade schädigt, weil fast alle Farbentöne aus den drei Grundfarben bestehen. Wenn in einer Chromolithographie eine Farbe durch die Wirkung des Lichtes geschädigt wird, so leidet nur ein kleiner Teil des Bildes, im Dreifarbendruck aber verschieben sich alle Töne. Diese Veränderung wird sich am wenigsten bemerkbar machen, wenn die drei Farben gleichmässig an Intensität verlieren, daher man hauptsächlich eine gleiche Lichtechtheit derselben anzustreben hat.

Bei der Auswahl der Druckfarben hat man ihren Farbenton, ihre Reinheit und ihr Verhalten bei Mischungen zu berücksichtigen.

Für die Beurteilung des Farbentones und der Reinheit benutzt man als Vergleichsobjekte gefärbte trockene Gelatinefolien; man hält diese über ein Blatt weisses Papier und vergleicht ihre Färbung mit jener der nebenliegenden, als Firnisdruck aufgetragenen Farbenprobe. Für die Auswahl von theoretisch richtigen Grundfarben sind Gelatinefolien zu benutzen, die mit Erythrosin, Echtgrün und Naphtholgelb gefärbt wurden.

Wenn auch, wie schon wiederholt erwähnt, lichtechte Pigmente von dieser Färbung und Reinheit vorläufig nicht vorhanden sind, so sollte man doch aus den uns zur Verfügung stehenden Druckfarben jene auswählen, welche diesen Forderungen thunlichst entsprechen.

Viele der eigens für diesen Zweck hergestellten und in der Praxis verwendeten Druckfarben zeigen jedoch dass der richtigen Farbenwahl noch immer nicht das volle Verständnis entgegen gebracht wird.

Insbesondere ist das, fast dem Ultramarin ähnliche Blau und das rotstichige Gelb, das sich seit den Anfängen des Dreifarbendruckes eingebürgert hat, noch immer nicht verschwunden. Kein Chromolithograph wird aus solchen Farben ein brauchbares Grün mischen wollen, und im Dreifarbendruck soll sich das Wunder vollziehen.

Man wähle daher aus den zahlreich bestehenden Farben für den Dreifarbendruck ein Gelb ohne jeden Rotstich, ein thunlichst grünstichiges Blau, ein dem Karmin ähnliches Purpur, und lasse sich durch ein mit anderen Farben vielleicht erzieltes, ausnehmend gutes Resultat nicht irre leiten. Es war dem zufällig günstigen Kolorit des Originals, oder einer besonders gut gelungenen photographischen Farbenzerlegung oder der vielleicht sehr günstigen Beschaffenheit der Druckform zuzuschreiben. Jedenfalls müssen die gewählten Farben auf ihr Verhalten bei der gegenseitigen Mischung geprüft werden. Man mischt ungefähr gleiche Mengen der in Firnis verriebenen Farbstoffe, trägt eine Probe auf Papier auf und beurteilt die Reinheit der Mischung. Aus Blau und Gelb muss ein lebhaftes Grün, aus Blau und Purpur ein genügend reines Violett und aus Gelb und Purpur ein dem Zinnober ähnliches Rot entstehen.

Selbstverständlich müssen endlich die Farben auch bezüglich ihrer Konsistenz und färbenden Kraft den allgemeinen Forderungen und der speziell benutzten Druckmethode entsprechen. So kann z. B. ein weissliches Blau oder Rot nicht entsprechen, wenn es auch im Farbenton richtig wäre, weil beim Druck das satte Kolorit nicht zu erzielen wäre. Auch dieser Umstand kann leicht zu falschen Schlussfolgerungen verleiten und eine Druckfarbe

brauchbarer erscheinen lassen als eine andere, deren Farbenton zwar richtig, deren färbende Kraft aber ungenügend ist.

Nachstehende Farben sind für den Dreifarbendruck zu empfehlen:

Gelb: Kadmiumgelb, Zinkgelb oder Chinesischgelb, alle vollkommen lichtecht. Chromgelb kann nicht als lichtecht bezeichnet werden, da es bei mehrstündiger Einwirkung des Sonnenlichtes eine bräunliche Färbung annimmt.

Blau: Pariser-(Milori-)Blau, vollkommen lichtecht, jedoch schwärzlich und zu wenig grünstichig. Es ist das gegenwärtig fast ausschliesslich verwendete Dreifarbendruck-Blau. Pfaublau Nr. 1305 von A. B. Fleming und Pfaublau 00 von Kast & Ehinger; brillante, im Tone fast richtige Farben, aber von sehr geringer Lichtbeständigkeit.

Rot: Krapplack Nr. 1231 von A. B. Fleming, vollkommen lichtecht, aber viel zu wenig blaustichig. Das lichtechte Farbensystem Beilage I zeigt die Eigentümlichkeiten dieses Farbstoffes. Rot Nr. 1611 von Kast & Ehinger. Dieses für den Dreifarbendruck erzeugte, ziemlich blaustichige und reine Rot ist aus der Probetafel — wo es die falsche Bezeichnung „Geranium“ trägt — ersichtlich. Es ist ziemlich lichtecht, d. h. es zeigt bei der Exposition im Sonnenlichte erst nach einigen Stunden eine Veränderung und ist das beste Rot, das gegenwärtig dem Praktiker zur Verfügung steht.

Nachtrosa von Kast & Ehinger entspricht bezüglich Reinheit und Farbenton vollkommen, ist aber wegen sehr geringer Lichtbeständigkeit in der Praxis nicht zu verwenden.

Die Ausführung des Zusammendruckes. Wenn es auch gelingt, vollkommen farbenrichtige Negative herzustellen, und wenn man der Theorie entsprechende Druckfarben wählt, also auf ihre Lichtechtheit Verzicht leistet, wird doch das schliessliche Resultat durch die im Prinzipe

des Farben-Übereinanderdruckes liegende Unvollkommenheit in so hohem Masse geschädigt, dass es hochgestellten Anforderungen bezüglich der Originaltreue kaum zu genügen vermag. Wie auf Seite 57 erörtert wurde, drängt sich die oben liegende Farbenschicht stets auf Kosten der unten liegenden vor, man ist gezwungen, die ersten zwei Drucke viel gesättigter, farbenreicher auszuführen, als es das Mischungsgesetz verlangt, wodurch man zwar einzelne Teile des Bildes richtig erhält, in anderen aber das notwendige Gleichgewicht der Grundfarben stört. Diese, als Überdeckungsfehler bezeichnete Unvollkommenheit des Dreifarbendruckes macht sich besonders bei der Wiedergabe der gebrochenen Farbentöne fühlbar. Die reinen Farben stellen uns zufrieden, sobald sie nur annähernd richtig sind. Es stört den Gesamteindruck des Bildes wenig, wenn das entstehende Rot, Blau, Grün, Violett u. s. w. vom Original ziemlich abweicht, eine falsche Wiedergabe der schwärzlichen Nuancen, besonders der Mangel eines neutralen Grau wird aber als schwerer Fehler empfunden.

Eine weitere, sehr bedeutende Störung im Gleichgewichte der Farben ist durch die Unvollkommenheit des Pressendruckes bedingt, da kein Verfahren eine Serie vollkommen gleichartiger Drucke liefert. Die Intensität der auf das Papier übertragenen Farbstoffschicht variiert fortwährend, weil die Farbstoffmenge, die auf die Druckform aufgetragen wird, nur innerhalb gewisser Grenzen regulierbar ist. Aus diesem Grunde ist die Handpresse, bei der alles von der Empfindung des Druckers abhängt, für den Dreifarbendruck nur wenig geeignet.

Diese, durch das Wesen des Pressendruckes bedingte Ungleichmässigkeit in der Intensität der einzelnen Teilbilder, ebenso wie der Überdeckungsfehler, machen sich bei der Chromolithographie fast gar nicht fühlbar. Bei diesem Verfahren kommen die einzelnen Farben ungemischt zur Geltung, höchstens liegen zwei Farbschichten

übereinander, und schwärzlich nuancierte Töne, wie Olive, Braun, Grau u. s. w., für welche drei reine Farben gemischt werden müssten, werden stets mit eigenen Platten hervorgebracht. Man benutzt 10 bis 30 Farbsteine, daher kommen Fehler in der Intensität, im Farbenton und in der Nuance fast gar nicht zur Geltung.

Ganz anders liegen die Verhältnisse beim Dreifarbendruck, hier wird fast jede Stelle des Bildes durch Mischung aus den drei Grundfarben gebildet, und wenn eines der drei Teilbilder nicht von passender Kraft ist, wird der Charakter des ganzen Bildes verdorben. Alle Farben werden unwahr, statt Grau entsteht vielleicht Braun oder Violett, der Zusammendruck ist unbrauchbar. Dazu kommt noch die, fast bei jedem Dreifarbendruck zu beobachtende Erscheinung, dass graue Flächen von etwas grösserer Ausdehnung nicht gleichmässig erscheinen, sondern wegen Unvollkommenheiten der Negative, der Druckformen und wegen der unvollkommenen Übertragung der Farbstoffschicht auf das Papier stellenweise farbig erscheinen. Ein grauer Hintergrund, ein graues Gebäude zeigt an einzelnen Teilen vielleicht einen rötlichen, an anderen einen grünlichen Stich, es entsteht eine Unruhe in den Farben, die einen geradezu widerwärtigen Eindruck hervorbringt.

Die gegenwärtig uns zu Gebote stehenden Mittel dürften nicht geeignet sein, breite, neutralgrau schattierte Flächen im Dreifarbendruck wiederzugeben, und wenn bei der Reproduktion eines Bildes das Grau unentbehrlich ist, weil es eine für die Stimmung charakteristische Rolle spielt, dann wird es sich empfehlen, das Bild durch eine vierte, neutralgraue Platte zu vervollständigen. Man wird dann in den drei Farben-Negativen alle Stellen, welche dem reinen Grau entsprechen, abdecken und nach einem vierten, passend retouchierten Negativ eine grau zu druckende Platte herstellen. Für die Aufnahme dieses vierten Negatives, welches alle reinen Farben gedeckt

enthalten soll, benutzt man am besten eine isochromatische, also mit Cyanin und Eosin sensibilisierte Platte, wobei man ein passendes Strahlenfilter vorschaltet. Bei der Retouche lässt man die dem Grau und Schwarz entsprechenden Teile unberührt, deckt etwa zurückgebliebene Reste der reinen Farben vollständig und schwächt die gebrochenen Schattentöne bedeutend ab. Die Druckplatte ersetzt dann das fehlende Grau, wirkt als Kraftplatte für die Schatten und übt durch ihren ruhigen verbindenden Ton einen äusserst wohlthätigen Einfluss auf das Gesamtaussehen des Bildes.

Der Vorgang erfordert aber viel Verständnis und Geschicklichkeit des Retoucheurs, denn geschieht das Eliminieren der Schatten unvollständig, so überwiegt stellenweise das Schwarz, und das Bild macht einen schweren, russigen Eindruck.

Dr. E. Albert[1]) bewirkt das Eliminieren der schwarzen und grauen Bildelemente auf mechanischem Wege und erzielt so eine vollständige, sehr gut modulierte Schwarzplatte als formgebenden Faktor des Bildes, während der Aufdruck der drei Farben eigentlich nur das Kolorit besorgt.

Das durch ein Patent geschützte Verfahren wird in folgender Weise ausgeführt: Man verfertigt ausser den drei Aufnahmen für den Rot-, Blau- und Gelbdruck noch eine vierte mit isochromatischer Platte, die, wie schon oben erwähnt, lediglich den Anteil an Schwarz enthält. Nach diesem Negativ werden drei Diapositive hergestellt, die man mit den drei Farben-Negativen zur scharfen Deckung bringt. Mit den dergestalt zusammengesetzten, aus einem Negativ und einem Positiv bestehenden Matrizen werden dann die drei Kolorit-Druckplatten erzeugt.

Die Diapositive dienen gleichsam als Filter oder Sieb, welches die Ausscheidung oder Trennung der schwarzen

---

1) Photographische Korrespondenz 1899, S. 309.

und grauen Bildteile von den farbigen Tönen ermöglicht, indem es die ersteren beim Durchkopieren zurückhält.

Das gleiche Resultat wird erhalten, wenn positive, photographische oder Pressen-Abdrücke nach den drei Farben-Negativen mit dem Positiv der Schwarzplatte aber in lichter Farbe bedruckt und danach neue Aufnahmen gemacht werden, die nunmehr die für die Koloritplatten erforderliche Trennung der Farben von den schwarzen und grauen Bildelementen aufweisen.

Ein anderes Mittel, um die Bildung eines reinen Grau zu erleichtern, besteht darin, dass man eine oder auch zwei der Farben mit Grau geschmutzt verwendet. Man benutzt z. B. eine mit etwas Schwarz gemischte blaue Druckfarbe, muss aber dann selbstverständlich auf ein reines Grün verzichten; ist aber dieses nötig, dagegen ein reines Rot entbehrlich, so kann die rote Druckfarbe durch einen Zusatz von Schwarz gebrochen werden.

Je unreiner die Farben, desto leichter sind graue Töne zu erzielen, und in dieser Beziehung sind daher die lichtechten Farbstoffe mit breiten Absorptionsbändern den feurigen Lackfarben überlegen.

Für die Ausführung des Dreifarbendruckes kann der Hoch-, Flach- oder Lichtdruck benutzt werden; der Tiefdruck, als Photogravüre, kann teils wegen der Schwierigkeit eines genauen Passens und wegen geringer Transparenz der Kupferdruckfarben, teils wegen der Kostspieligkeit des Verfahrens kaum in Frage kommen. Beim Vierfarbendruck lassen sich jedoch durch Benutzung einer Photogravüre-Platte für den Schwarzaufdruck sehr effektvolle Resultate erzielen.

1. Der Hoch- oder Clichédruck.

Die Anfertigung von Clichés nach Halbtonbildern hat durch Einführung tadelloser Glasraster und des Kupfer-Emailverfahrens eine hohe Stufe der Vollendung erreicht. Die Autotypie, welche vor mehreren Jahren nur als

billiger und schlechter Illustrationsbehelf verwendbar war, ist für Kunstreproduktionen brauchbar geworden, und der Hochdruck macht gegenwärtig dem Druck von der Lichtdruckpresse ernstlich Konkurrenz. Man hat daher auch bei der Ausführung des Dreifarbendruckes den früher fast ausschliesslich benutzten Lichtdruck verlassen und sich dem autotypischen Clichédruck zugewendet. Es ist dies um so begreiflicher, als dieses Verfahren, abgesehen von seiner Eignung für billige Massenauflagen, auch noch aus anderen Gründen gerade für den Dreifarbendruck besonders brauchbar ist. Bei dem Zusammendruck von Linien- oder Punkttönen wird der Überdeckungsfehler bedeutend verringert (Seite 56), die Farben verschmelzen ineinander, und das Prinzip des Buchdruckes liefert die relativ beste Gewähr für den gleichen Charakter einer ganzen Auflage. Schliesslich gewährt der Hochdruck noch den Vorteil, dass die Druckfarben nicht mit Wasser in Berührung kommen, daher rein erhalten werden und das Druckpapier trocken bleibt, also Dimensionsänderungen desselben, die das Passen der Farben erschweren, ausgeschlossen sind. Anderseits unterliegt es aber keinem Zweifel, dass gerade das Autotypie-Cliché am wenigsten für die richtige Wiedergabe der Abschattierung eines Originals geeignet ist. Entweder fehlt den Schatten die notwendige Transparenz oder es mangeln den Lichtern die Details, die Gradation ist unwahr und beschränkt, und überdies liegt über dem ganzen Bilde ein Punktton, der die Reinheit des Kolorits aller hellen Töne vernichtet.

Bei einer Schwarzautotypie stört dieser allgemeine Ton gar nicht, denn er vermittelt die Verbindung der Schatten und verleiht dem Bilde ein weiches, geschlossenes Aussehen. Die Dreifarben-Autotypie fordert daher nicht nur eine ausgiebige Überarbeitung der Negative und Positive, sondern auch ein mehrmaliges Decken und Nachätzen der Clichés, und das schliessliche Resultat hängt

mehr von der Geschicklichkeit des Retoucheurs und Ätzers, als von der Richtigkeit der photographischen Aufnahmen ab.

Gewöhnlich werden von dem Original zunächst Halbton-Negative hergestellt, dann Positive erzeugt und diese erst für die autotypische Aufnahme verwendet. Man benutzt zu diesem Zwecke am besten transparente Glaspositive, die sich nicht nur durch treue Wiedergabe der Gradationen des Negatives auszeichnen und vollkommen richtige Dimensionen aufweisen, sondern auch den grossen Vorteil gewähren, dass bei ihrer Verwendung das sonst notwendige Umkehren des Rasternegatives entfällt. Auch die autotypische Aufnahme ist nach Glaspositiven ungleich leichter auszuführen als nach Papierkopieen, und liefert besser abschattierte Clichés. Solche Glaspositive erhält man sehr leicht mit gewöhnlichen Gelatineplatten, die man im Kontakt bei dem Lichte einer Kerze kopiert und mit Glycin entwickelt.

Die Herstellung der Rasternegative nach diesen Positiven erfolgt am besten in einer Diapositiv-Kamera, und zur Abkürzung der Expositionszeit wird man sich, wenn möglich, des elektrischen Lichtes bedienen[1]).

Werden zwei aus parallelen Linien gebildete Rasterflächen derart übereinander gedruckt, dass sich die Strichlagen unter sehr spitzem Winkel schneiden, so entstehen moiréartige Zeichnungen, die den gleichmässigen Ton der Fläche störend beeinträchtigen. Um diese Erscheinung bei dem Zusammendruck autotypischer Clichés zu vermeiden, benutzt Dr. E. Albert nach einem Patente vom Jahre 1891 bei der photographischen Aufnahme nur ein einfaches Liniennetz in solcher Stellung, dass sich die Linien der drei Negative unter einem Winkel von 60 Grad schneiden. Man hat also der Rasterplatte bei jeder der drei Aufnahmen eine andere Stellung zu geben, oder aber

---

1) Zeitschrift für Reproduktionstechnik 1902, S. 1.

man lässt die Rasterplatte unverändert und ändert die Stellung der aufzunehmenden Positive.

Sehr bequem in dieser Beziehung sind Rasterplatten von kreisrunder Form, die in neuerer Zeit bei mehreren Firmen, z. B. J. C. Haas in Frankfurt a. M., erhältlich sind. Die Rasterplatte wird drehbar in ein Brett montiert, das sich in die Kamera einsetzen lässt und mit Hilfe einer Triebschraube der empfindlichen Platte nach Bedarf genähert werden kann. Eine am Einsatzbrett angebrachte Gradeinteilung ermöglicht das Einstellen der Rasterplatte auf den für die gewählte Linienkreuzung entsprechenden Winkel [1]).

An Stelle des Linienrasters kann auch der allgemein übliche Kreuzraster benutzt werden, wenn man mit Hilfe einer Schlitzblende [2]) die eine Linienlage von der Mitwirkung an der Bilderzeugung ausschliesst. Die Schlitzblende muss selbstverständlich genau parallel zu den wirkenden Rasterlinien angeordnet werden, daher man für jede Rasterstellung eine entsprechend geschnittene Blende in das Objektiv einzusetzen hat. Man kann jedoch auch für alle drei Aufnahmen eine Blende benutzen, wenn das Objektiv mit dem von Dr. A. Miethe [3]) angegebenen Drehring ausgestattet ist, welcher die Drehung des Objektives um einen, an einer Teilung abzulesenden Winkel gestattet. Stellt man das Objektiv und den Drehraster auf den gleichen Teilungsstrich, so besitzt die Schlitzblende stets eine den Rasterlinien entsprechende Lage.

Bei den Rasteraufnahmen ist man keineswegs an eine Kreuzung der Rasterlinien unter einem Winkel von 60 Grad gebunden, denn die von Dr. A. Miethe angestellten Versuche haben gezeigt, dass auch dann von keinerlei Störung der Farbenharmonie durch Dessinbildung die

1) Zeitschrift für Reproduktionstechnik 1901, S. 92.
2) Dr. J. M. Eder, Handbuch II, 2. Auflage, S. 335.
3) Zeitschrift für Reproduktionstechnik 1902, S. 18.

Rede sein kann, wenn die Winkelung zwischen den drei Linien eine verschiedene ist. Empfehlenswert ist es nur, die Winkelung zwischen der Liniatur des Rotdruck- und des Blaudrucknegatives, also derjenigen Negative, die dem Bilde vorwiegend Zeichnung verleihen, möglichst gross zu wählen. Es unterliegt auch keinem Anstande, zwei Aufnahmen mit der Schlitzblende, die dritte aber mit irgend einer andern Blendenform, z. B. Doppelkreis- oder Runzelkorn u. s. w., auszuführen. Man findet dann mit einem gewöhnlichen, nicht drehbaren Raster das Auslangen, benutzt für den Rot- und Blaudruck unter 90 Grad gekreuzte Schlitzblenden und für das Gelbdrucknegativ eine Blende mit zwei Kreisöffnungen, deren Verbindungslinie die Rasterlinien unter 45 Grad schneidet.

Gegenwärtig werden übrigens nur selten Clichés mit einfachen Linienlagen verwendet, sondern meist gewöhnliche Autotypie-Aufnahmen mit runder, resp. quadratischer Blende hergestellt, wobei der Raster nach jeder Aufnahme um etwa 30 Grad gedreht wird.

Man hat auch eigene „Dreifarbenraster“ hergestellt, die man mit dem gewöhnlichen Raster kombiniert, wodurch die Drehung der Rasterplatte entbehrlich wird. Beim gewöhnlichen Raster sind die Linien diagonal gezogen, beim Dreifarbenraster dagegen unter einem Winkel von 30, resp. 60 Grad gegen die Diagonalen der quadratischen Rasterplatte.

Zwei Aufnahmen macht man mit dem Dreifarbenraster, wobei man bei der zweiten den Raster um 180 Grad gewendet hat, und die dritte mit dem normalen Diagonalraster, wodurch man drei Negative mit einer Winkelung von 30 Grad erzielt.

Die Dreifarbendrucke mit Kreuzraster-Autotypieen sind zwar frei von den störenden Moiréen, zeigen aber doch ein sternförmiges und ringelartiges Muster, das die Ruhe und Schönheit der Resultate beeinträchtigt, während

die Zusammendrucke von Linien-Clichés von diesem Fehler durchaus frei sind.

Auch die Autotypie mit Kornplatte wurde für den Dreifarbendruck empfohlen, wobei sie entweder ausschliesslich oder in Kombination mit dem Linienraster benutzt werden sollen [1]).

Obwohl neuester Zeit wesentliche Fortschritte auf dem Gebiete der Kornautotypie erzielt wurden, so fehlt den Drucken doch noch immer die Ruhe der Strichautotypie, sie erscheinen rauh und lassen bezüglich ihrer Abschattierung manches zu wünschen übrig.

Seit einiger Zeit trachtet man, die Anfertigung der Positive zu umgehen und die Negative direkt nach dem Original autotypisch herzustellen. Allerdings hat dieser Vorgang bisher noch wenig Anhänger gefunden, weil autotypische Aufnahmen mit Kollodiumemulsion oder Gelatineplatten, nur ausnahmsweise höher gestellten Anforderungen zu entsprechen vermögen.

Die Kollodiumemulsion von Dr. E. Albert mit Farbstoff A und die Emulsion von Brend'amour mit Farbstoff Alpha sind zwar für Aufnahmen mit vorgeschaltetem Raster vorzüglich geeignet, und es unterliegt daher gar keinen Schwierigkeiten, das Negativ für den Rotdruck und bei Benutzung eines Violettfilters auch jenes für die gelbe Druckplatte direkt herzustellen, für das dritte Negativ fehlt aber ein Sensibilisator, der genügende Rotempfindlichkeit mit der Ausbildung eines scharfen, kräftigen Punktbildes vereinen würde.

Die gewöhnlichen Gelatineplatten sind bekanntlich für solche Aufnahmen gar nicht brauchbar, und die neuerer Zeit eigens für Reproduktionszwecke hergestellten Trocken-

---

1) Die Kornautotypie, Zeitschrift für Reproduktionstechnik 1902, S. 20.

Dr. J. M. Eder, Jahrbuch für Photographie 1900, S. 440.

platten sind zwar verwendbar und lassen sich auch passend sensibilisieren, fordern aber einen sehr geschickten, erfahrenen Operateur, und ihre Nachbehandlung — das Verstärken und Klären des Bildes — ist zeitraubend und keineswegs leicht durchführbar.

Dazu kommt noch, dass sich die immer notwendige Retouche auf den Halbton-Negativen mit grösster Leichtigkeit vornehmen lässt, während bei Rasternegativen eine manuelle Korrektur kaum anzubringen ist.

2. Der Flachdruck oder photolithographische Steindruck.

Der Steindruck nach photographischen Halbton-Negativen wird gegenwärtig selten ausgeübt, und es fehlt vorläufig auch eine vollkommen brauchbare Methode für die Ausführung dieses Verfahrens. Die relativ besten Resultate erhält man bei der Benutzung autotypischer Negative, da die verschiedenen auf der Verwendung gekörnter Steine basierenden photomechanischen Halbtonprozesse für den gedachten Zweck viel zu unvollkommen sind.

Soll das autotypische Negativ für den gewöhnlichen photolithographischen Prozess benutzt, also auf Chromat-Gelatinepapier kopiert und das fette Bild auf den Stein übertragen werden, so muss es wesentlich andere Eigenschaften besitzen, als seine Verwendung bei der Hochätzung fordert. Während nämlich bei diesem Prozess eine allgemeine Verfeinerung der Zeichnung eintritt, die sich naturgemäss bei den zartesten Punkten und Linien am meisten bemerkbar macht und dadurch die Kontraste im Bilde in hohem Masse gefördert werden, tritt bei der Photolithographie infolge der Tendenz zur allgemeinen Strichverbreiterung die gerade entgegengesetzte Erscheinung auf. Das autotypische Negativ muss daher in den Lichtern thunlichst geschlossen sein, und relativ grosse,

freistehende Punkte müssen die Schatten offen erhalten, wenn nicht ein flaues, durchaus toniges Bild resultieren soll. Doch gelingt es kaum, auf diesem Wege brauchbare Halbtonbilder zu erzielen; die zarten Töne werden meist rauh, die Schatten werden derb, und dadurch geht die Ruhe und der geschlossene, dem Rasterbild eigentümliche Charakter verloren.

Bessere Resultate werden beim direkten Kopieren des Negatives auf einer lichtempfindlich gemachten Stein- oder Aluminiumplatte erzielt. Man kann hierbei entweder das Asphaltverfahren benutzen oder den von G. Fritz angegebenen, dem amerikanischen Kupferätzverfahren nachgebildeten Weg einschlagen.

Aber auch in dieser Weise lassen sich tadellose Resultate nicht erzielen, da ihnen stets die Unvollkommenheiten des autotypischen Negatives anhaften.

Wenn es jedoch gelingen sollte, die Übertragung direkt nach dem Halbton-Negativ auszuführen und wenn sich dabei richtig abschattierte Druckformen erzielen liessen, würde der Dreifarben-Flachdruck berufen sein, eine bedeutende Rolle in der Kunstreproduktion zu spielen.

Wenn er auch vielleicht nicht im stande wäre, die Chromolithographie zu ersetzen, so könnte er sie doch in hervorragender Weise unterstützen. Wir verfügen über kein zweites Vervielfältigungsverfahren, das, besonders bei grossen Formaten, so rasch und wohlfeil ausführbar wäre, wie der Flachdruck.

3. Der Lichtdruck.

Während bei der Ausführung der eben besprochenen Verfahren die Zerlegung des Bildes in ein druckbares Linien- oder Punktnetz notwendig ist, liefert der Lichtdruck glatte, geschlossene, fast kornlose Halbtöne. Diese Eigentümlichkeit würde das Verfahren für die Ausübung

des Dreifarbendruckes besonders geeignet machen, leider wird aber seine Verwendbarkeit durch die relativ schwierige Behandlung der Druckplatte, dann durch die kaum zu beseitigende Ungleichmässigkeit der Abdrucke bedeutend eingeschränkt. Aus diesem Grunde wird der Dreifarben-Lichtdruck immer einen sehr bedeutenden Ausschuss ergeben, und überdies wird die Richtigkeit der gebildeten Farbentöne durch den Überdeckungsfehler in höherem Masse alteriert, als bei dem Übereinanderdruck von Rasterbildern.

Man wird dieses Verfahren nur für kleine Auflagen, besonders dann zur Anwendung bringen, wenn thunlichst zarte und glatte Halbtöne gefordert werden und das Kolorit des Bildes aus hellen, leichten Farbentönen gebildet wird.

Die für die Ausführung des Lichtdruckes notwendigen verkehrten Negative können entweder unter Zuhilfenahme eines Prismas hergestellt werden, oder man legt die photographische Platte verkehrt in die Kassette und exponiert durch die Glasschicht. Das letztere Verfahren ist bei Verwendung von Kollodiumemulsionen anstandslos durchführbar, fordert aber eigens für diesen Zweck eingerichtete Kassetten. Das sonst im Lichtdruck meist angewendete Umkehren durch Abziehen der Schicht ist weniger zu empfehlen, da bei diesem Vorgange leicht eine Verzerrung des Bildes eintritt, wodurch das scharfe Aufeinanderpressen der Drucke in Frage gestellt wird.

Der Dreifarben-Lichtdruck kann auch mit dem Aufdruck einer heliographischen Schwarzplatte kombiniert werden. Das Verfahren wurde in der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien [1]) ausgearbeitet und ermöglicht, die weichen Farbentöne und satten Tiefen von Ölgemälden mit ausgezeichneter Treue wiederzugeben.

---

1) Dr. J. M. Eder, Jahrbuch der Photographie 1901, S. 722.

Wegen der Schwierigkeiten, die sich der Erzeugung einer Photogravüreplatte von ganz bestimmten Dimensionen entgegenstellen, die dann auf die feucht gemachten Lichtdrucke aufgedruckt werden muss, ist das Verfahren ziemlich langwierig und nicht leicht durchführbar, wegen der Schönheit seiner Resultate aber für Kunstreproduktionen äusserst lohnend.

Die Farbenfolge. Bezüglich der Farbenfolge bei der Ausführung des Druckes kann es keinem Zweifel unterliegen, dass das Blau als Schlussfarbe zu benutzen ist. Die oberste Farbenlage kommt, besonders in den tiefen Schatten, wo fast Volltöne übereinander liegen, hervorragend zur Geltung, und es schadet dem Gesamtcharakter des Bildes am wenigsten, wenn an diesen Stellen etwas Blau vorherrscht. Ob Gelb oder Rot als erste Farbe zu wählen ist, hängt zum Teil von der Beschaffenheit der Pigmente ab, da man im allgemeinen mit der weniger transparenten Farbe den Druck beginnen muss. Wenn daher das stark deckende Chromgelb benutzt wird, so muss Gelb die erste Farbe bilden. Verwendet man aber eine ziemlich transparente gelbe Druckfarbe, etwa einen gelben Lack, dann dürfte es zweckmässiger sein, mit dem Rotdruck zu beginnen. Das gelbe Bild erscheint nämlich so wenig deutlich, dass man seine Brauchbarkeit kaum zu beurteilen vermag, die zarten Halbtöne sind fast nicht sichtbar, und in den Schatten erkennt man kaum ein Detail. Aus der schlechten Sichtbarkeit dieses Bildes darf man aber nicht schliessen, dass seine Modulation von untergeordnetem Werte ist, diese kommt vielmehr erst bei den folgenden Farben zur Geltung.

Aus diesem Grunde ist es zweckmässig, mit dem gut sichtbaren Rotdruck zu beginnen.

Bei Verwendung der lichtechten Grundfarben muss überdies das Rot von relativ geringer Intensität sein, da

man sonst kein Grau zu erhalten vermag, es erscheint also auch geboten, die Wirkung dieser Farbe abzuschwächen, sie also unter das Gelb zu legen.

Der Aufdruck von Gelb und Blau wird durch die neben dem Bilde angebrachte Grauskala kontrolliert; Gelb druckt man über das Rot derart, dass diese Skala in allen Teilen den Ton der Kontrollfarbe zeigt, und durch den Blaudruck soll ihre Färbung in ein thunlichst neutrales Grau übergeführt werden.

Arbeitet man daher mit den, dem theoretisch richtigen Farbensystem entsprechenden Druckfarben Gelb, Purpur und Blaugrün, so muss die Skala nach dem Gelbdruck ein gleichmässig abgestuftes Zinnoberrot zeigen, benutzt man die lichtechten Druckfarben Gelb, Krapplack und Pariserblau, so ist das Gelb derart zu drucken, dass die Skala gleichmässig orange abschattiert erscheint.

Schlusswort.

Aus der eben gegebenen Darstellung jener Verfahren welche die photographische Wiedergabe der Naturfarben auf indirektem Wege anstreben, dürfte hervorgehen, dass sich der Möglichkeit, solche Bilder von hoher Vollkommenheit herzustellen, keine Hindernisse theoretischer Natur entgegenstellen. Dem Photochromoskop und den Dreifarbenbildern, mögen diese aus transparenten Folien oder durch Pressendruck entstanden sein, liegt ein Prinzip zu Grunde, alle drei Wege sind theoretisch gleich berechtigt und gleich vollkommen.

Die Schwierigkeiten, welche man bei der praktischen Ausgestaltung dieses Prinzipes zu überwinden hat, sind aber verschieden und unstreitig am bedeutendsten bei jener Form, die man als Dreifarbendruck bezeichnet. Sie sind, wie wiederholt betont wurde, hauptsächlich durch die Unvollkommenheit aller Halbtondruck-Verfahren bedingt, daher jede Vervollkommnung derselben auch einen Fortschritt auf dem Gebiete des Dreifarbendruckes bedeutet.

Unbedingt richtige Farbenwiedergabe ist bei diesen Verfahren aber ebensowenig zu erzielen, wie in der gewöhnlichen schwarzen Photographie volle Originaltreue. Die photographische Reproduktion eines Stiches oder einer monochromen Halbtonzeichnung lässt immer viel zu wünschen übrig, man kann auch hier nur ein dem Original ähnliches Resultat fordern.

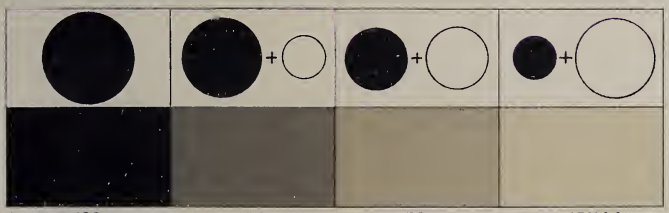
Man darf daher auch beim Dreifarbendruck keine volle Farbenwahrheit erzwingen wollen, und wenn er uns ein Bild schafft, dessen charakteristischer Gesamtausdruck dem Original nahe kommt, so hat er die ihm zufallende Aufgabe gelöst. Dieses Resultat muss aber bei entsprechender theoretischer Basierung des Verfahrens ohne Retouche zu erreichen sein, dann erst ist, um eine weitere Annäherung an das Original zu erzielen, die manuelle Verbesserung der Negative gerechtfertigt.

Theoretisch richtiges Farbensystem

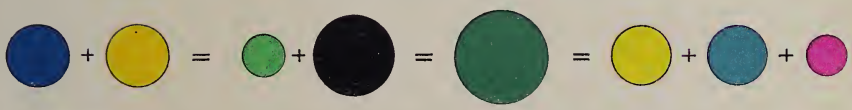
Lichtechte Druckfarben

Mischung von Ultramarin + Zinnober

Mischung von Schwarz + Weiß



Entstehung und Zerlegung von Seidengrün

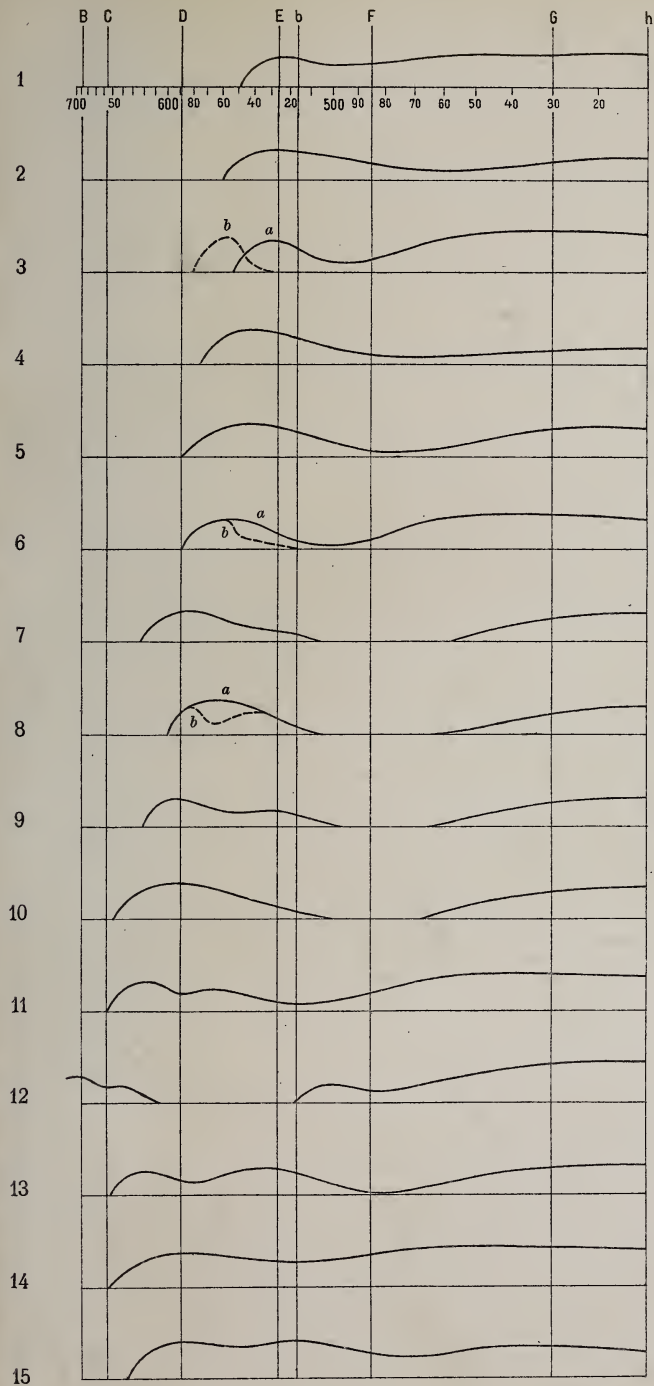


28/11 92

B - Bleiverbindung
L - Lackfarbe
K - Käufliche Druckfarbe

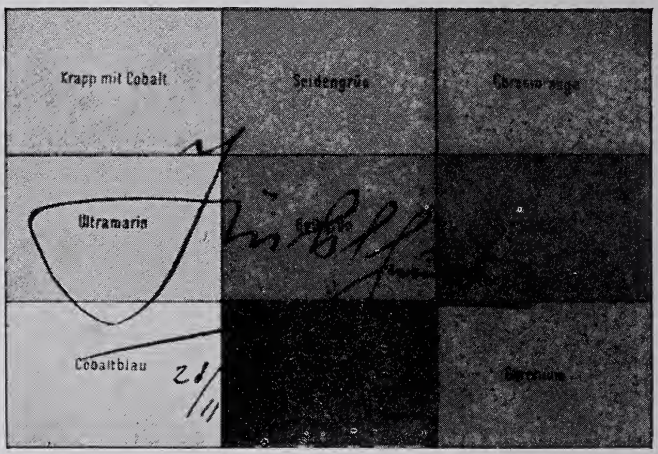
bl, Dreifarbendruck

Gedruckt mit Farben von Kast & Ehinger


B C D E b F G h
700 50 600 80 60 40 20 500 90 80 70 60 50 40 30 20
1
Acridin-Collodium
2
Uranin-Collodium
3
Uranin-Gelatine
a nass, b trocken
4
Fosin-Collodium
5
Erythrosin-Collodium
6
Erythrosin-Gelatine
a schwach, b stark gefärbt
7
Alpenrosa-Collodium
8
Rhodamin-Collodium
a schwach, b stark gefärbt
9
Rhodamin-3 B-Collodium
10
Cyanin-Collodium
11
Cyanin-Gelatine
12
Chlorophyll-Collodium
13
Eosin-Cyanin-Collodium
14
Cyanin-Chinolinroth-
Glycinroth-Gelatine
15
Aethylroth-Gelatine
(nach Dr. Miethe)

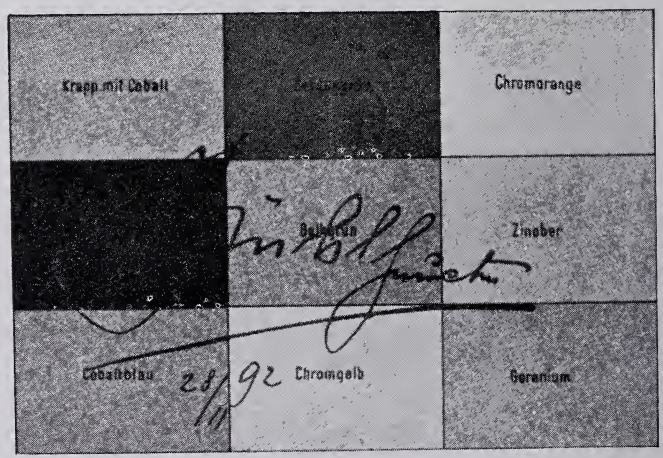
Gelbes Teilbild.

Druckfarbe: Cadmium- oder Chromgelb.
Färbung für Transparentbilder: Naphtholgelb S.



Blaues Teilbild.

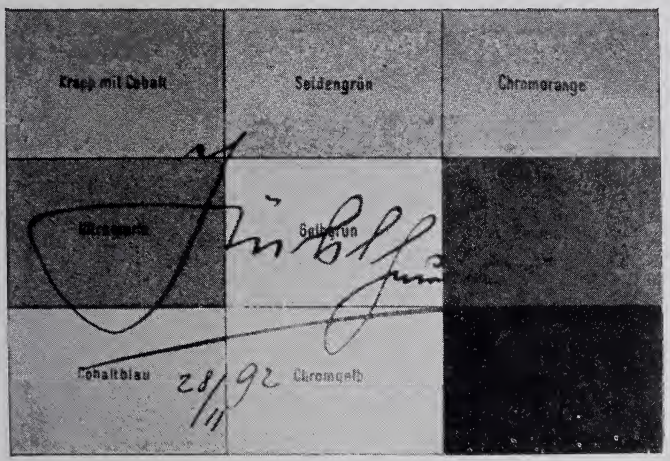
Druckfarbe: Pfaublau-Viridinlack.
Färbung für Transparentbilder: Echtgrün bläulich.



der Probetafel Beilage I.

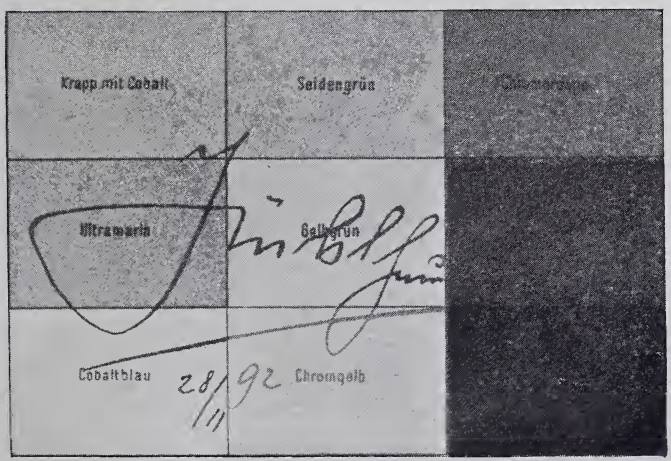
Rotes Teilbild.

Druckfarbe: Nachtrosa.
Färbung für Transparentbilder: Erythrosin.



Rotes Teilbild.

Druckfarbe: Krapplack bläulich.



Sprung in den Tiber, Rom.

Sprung in den Tiber, Rom.

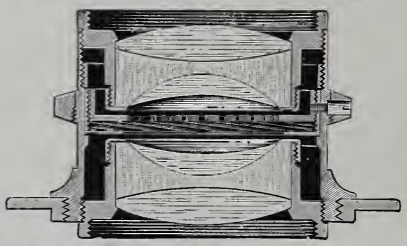
P. Sbisa phot.

Aufnahme mit **Goerz-Anschütz-Klapp-Apparat.**
(Objektiv: Goerz' Doppel-Anastigmat, Serie III, F:6,8.)

Goerz'
Doppel-Anastigmat

in verschiedenen Serien von F : 4,5 bis F : 11.

Serie III, lichtstarkes Universal-Objectiv von höchster Leistungsfähigkeit für alle Zwecke der Photographie, als:



Portraits, Gruppen, Landschaften, Architekturen, Interieurs, Momentaufnahmen bei kürzester Belichtung, Weitwinkel und Blitzlichtaufnahmen, Vergrösserungen etc. Die Hinterlinse allein giebt Bilder von doppelter Grösse.

Goerz' Hypergon-Doppel-Anastigmat

Serie X, F : 22, Bildwinkel ca. 135°.
Weitwinkel-Anastigmat, welcher Platten von der **vierfachen Länge der Brennweite** auszeichnet.

Goerz-Anschütz-Klapp-Apparat,

Hand-Camera für alle Zwecke der Photographie, speciell Moment-Aufnahmen jeder Art bis zu $^1/_{1000}$ Sekunde.

Goerz' Photo-Stereo-Binocle,

Combination von Opernglas, Feldstecher und photographischer Stereoskop-Camera. Plattenformat $4^1/_2 \times 5$ cm.

Prismen, Cüvetten, Gelbscheiben.

Hauptpreisliste über Objective (Doppel-Anastigmat, Lynkeioskop. Hypergon) sowie Apparate (Goerz-Anschütz-Moment-Klapp-Camera, Photo-Stereo-Binocle, Momentverschlüsse etc.) auf Verlangen kostenfrei.

Zu beziehen durch alle photographischen Handlungen oder direct durch

Optische Anstalt C. P. Goerz • Berlin • Friedenau.

LONDON: 4/5 Holborn-Circus, E. C. PARIS: 22 Rue de l'Entrepôt.
NEW-YORK: 52 East Union Square.

75-B749

GETTY CENTER LIBRARY
NH 820 H87 1902
c. 1
CONS
BKS
Hubl, Arthur, Freihe
Die Dreifarbenphotographie : mit besonde
3 3125 00349 8025